



Universitat
Autònoma
de Barcelona



XARXES AD HOC COOPERATIVES

*Memòria del Treball Final de Carrera
d'Enginyeria Tècnica de Telecomunicació,
especialitat Sistemes Electrònics*

realitzat per

Gerard Casellas Pujol

i dirigit per

Maria Ángeles Vázquez Castro

Bellaterra , 15 de Setembre de 2008

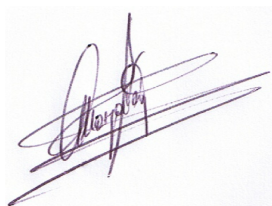
El sotasignat, Maria Ángeles Vázquez Castro
Professora de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball a què correspon aquesta memòria ha estat realitzat sota la seva direcció per en Gerard Casellas Pujol.

I per tal que consti firma la present.

Signat:



Bellaterra, 15 de Setembre de 2008

1 Introducció	7
1.1 Objectius i motivacions	9
2 Xarxes Ad Hoc.....	10
2.1 Model de xarxa	15
2.2 Model del algoritme de retransmissió de paquets: nodes terrestres.....	18
2.3 Model del algoritme de retransmissió de paquets: inserció d'un node satèl·lit..	20
3 Propagació en el canal ràdio mòbil	24
3.1 Propagació en xarxes Ad Hoc.....	24
3.2 Model de propagació utilitzat.....	28
4 El rendiment en xarxes Ad Hoc cooperatives	33
4.1 Definició de paràmetres de prestacions.....	34
4.2 Nodes transportables (laptops i/o sensors)	35
4.3 Inserció d'un node satèl·lit	37
4.4 Estudi del efecte de P_s al sistema.....	40
4.5 Nodes paràsits.....	48
5 La cobertura en xarxes Ad Hoc cooperatives.....	50
5.1 Modulació digital M-PSK.....	50
5.2 Efecte del model de propagació	53
5.3 Efecte de la modulació i el tipus de bateria.....	57
6 Conclusions i línies futures.....	61
7 Referències.....	63
8 Annex.....	66
8.1 Programa/codi matlab	66

1. Introducció

A dia d'avui no sembla possible donar una contestació clara a la pregunta de com seran les comunicacions inalàmbriques del futur. Actualment, s'estan produint una sèrie de canvis que permeten la possibilitat d'intuir un tipus d'escenaris sensiblement allunyats dels existents avui en dia.

Són varis els motius que estan darrera d'aquest fet, però la evolució que han patit les comunicacions de tot tipus ens les darreres dècades és el fet que major pot justificar-ho. S'ha de tenir present, a més a més, els avenços que es produeixen contínuament sobretot en el camp de l'electrònica.

El massiu creixement de variades i innovadores alternatives d'accés deriva en escenaris en els que, el usuari, es converteix clarament en l'element central i té a la seva disposició un elevat conjunt de possibilitats per comunicar-se.

Ja no sorprèn a ningú la presència, cada cop més usual, de diferents dispositius de comunicació inalàmbrica. Però fa dues dècades la situació era ven diferent (els telèfons mòbils estaven al abast de molt pocs), fins que va aparèixer la telefonia cel·lular de 2^a generació (Global System for Mobile communications, GSM) i va canviar radicalment la concepció existent fins al moment i, així, el ús de tecnologies inalàmbriques es va convertir en un element més de la vida diària.

Paral·lelament a la tecnologia de la telefonia cel·lular, s'ha produït el naixement d'un altre tipus de tecnologies, les xarxes d'àrea local inalàmbriques (Wireless Local Area Network, WLAN) , conegudes comunament com xarxes WiFi.

La seva irrupció ha suposat un gran canvi en la manera en que els usuaris tenen accés a Internet, donant lloc a l'aparició de nous models de negoci que busquen la integració d'aquestes dues tecnologies, clarament diferenciades en les seves característiques més bàsiques.

D'altra banda, degut al increment en l'ús de dispositius portàtils i mòbils i a la sofisticació dels mateixos, la IETF (Internet Engineering Task Force) cap als anys 90 va crear el grup de treball MANET (Mobile Ad Hoc Network), buscant estandarditzar els aspectes mes importants de les xarxes ad hoc per ser utilitzats en aplicacions comercials.

A tot això cal afegir la aparició de tecnologies addicionals, com el IEEE 802.16 (o WiMAX), que no fa altra cosa que corroborar que el futur de les comunicacions es basarà en la heterogeneïtat de les mateixes. Evidentment, i com ja hem comentat anteriorment, és complicat preveure l'evolució del àmbit de les comunicacions inalàmbriques ja que en un període de poc més de 15 anys hem vist una gran evolució.

D'aquesta manera, aquest projecte el podem incloure en algun dels punts que segurament jugaran un paper rellevant en un futur més aviat proper. Bàsicament, es centra en la cooperació entre nodes que formen les xarxes ad hoc (també xarxes multi salt).

La primera xarxa ad hoc va sorgir en els anys 70 quan el Departament de Defensa (DoD) dels EEUU va patrocinar la investigació del que en aquell moment es va conèixer com Xarxa de Ràdio Paquets (PRNET), la qual emprava una combinació dels protocols ALOHA i CSMA com a tècnica d'accés al medi.

La topologia d'aquestes xarxes es caracteritza, principalment, per permetre l'establiment de comunicacions en aquelles situacions en les quals la presència d'una infraestructura subjacent no estigui garantitzada, essent escenaris típics bèl·lics o situacions després d'un desastre natural.

Partint d'aquí, el interès en aquest tipus d'arquitectures ha anat creixent i, han sorgit nombrosos protocols (amb el seu corresponent algoritme) per dur a terme l'encaminament en aquest tipus de xarxes inalàmbriques.

Dins del renovat interès que estan despertant aquest tipus de xarxes actualment, en el següent estudi s'en destaca el seu paper en la cooperació entre diferents dispositius mòbils (que formen una determinada xarxa) que hagin d'enviar-se informació i que també dependran de la distància que hi hagi entre ells.

Seguint aquesta línia, es necessari tenir en compte la cada cop major presència d'escenaris en els quals les alternatives d'accés es caracteritzen per una gran heterogeneïtat en quant al augment d'entitats que ofereixen serveis de comunicació.

1.1 Motivació i objectius

Com s'ha mencionat anteriorment, donada la continua evolució d'aquest tipus de xarxes, és realment interessant centrar-se en l'estudi de la cooperació entre els nodes que formen una xarxa mòbil ad hoc.

Dins del marc ja presentat, apareixen dos aspectes diferenciats que podrien destacar-se com les bases sobre les que s'articulen els estudis realitzats. El primer d'ells es centra en un algoritme encarregat de simular la cooperació en una xarxa ad hoc d'un determinat nombre de nodes en funció de determinats paràmetres com la energia dels dispositius, la generositat alhora d'actuar de routers o el rendiment total de la xarxa.

Un cop estudiat aquest escenari, es repetirà el procediment afegint un node satèl·lit per poder comprovar els beneficis que comporta en el global de la xarxa. Es tractarà, per tant, de trobar el punt òptim de funcionament de la xarxa que permeti una comunicació eficient entre els diferents dispositius. Com ja veurem, aquest punt de funcionament dependrà de factors tant importants com la bateria dels dispositius (energia).

Finalment, en segon lloc, es pretendrà analitzar la influència de la distància entre dos nodes dins d'una xarxa en la capacitat per transmetre informació d'un node origen a un node destí. Per tant, serà necessari considerar una modulació digital com podria ser la M-PSK i un model de propagació apropiat per calcular les pèrdues en termes de potència de senyal vers la distància.

Tot això tenint en compte que els nodes disposen d'energia limitada i, per tant, depenent de les seves reserves d'energia podran transmetre a un node destí que estigui a una distància o una altra.

2. La cooperació en xarxes Ad Hoc

Una xarxa ad hoc és un conjunt de nodes mòbils que s'autoconfiguren per formar una xarxa sense la necessitat de ser ajudats per cap infraestructura física i on l'administració es realitza d'una manera descentralitzada, tal com es mostra en la Figura 1.

La seva característica fonamental es que poden configurar-se per si mateixes sense la intervenció d'una administració local. Sense cap estructura, els mòbils dominen el control necessari i les tasques de xarxa per ells mateixos, generalment a través de la utilització d'algoritmes de control. Aquestes xarxes també són conegudes com xarxes ad hoc mòbils (MANETs).

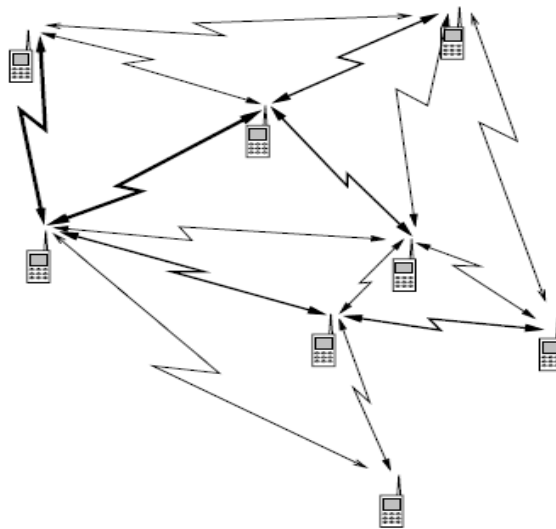


Figura 1. Xarxa mòbil ad hoc. [7]

Els dispositius a les xarxes ad hoc realitzen, a més a més, funcions d'encaminament de manera que dos dispositius que no estan en el mateix rang de cobertura puguin comunicar-se a través de la resta gràcies a nodes intermedis que actuen de router enviant paquets cap al node de destí. Les característiques principals d'una xarxa ad hoc són les següents:

- Topologia dinàmica i autònoma.
- Variabilitat elevada del canal ràdio.
- Comunicació basada en multi-hop.

- Sense infraestructura (estacions base ni xarxa fixa).
- Menor ample de banda que les xarxes cablejades.
- Energia dels dispositius de vida útil limitada (bateries).
- Protocols distribuïts (no existeix una entitat central).

Mitjançant aquesta topologia dinàmica, es modifiquen els nodes veïns constantment, així com l'estat dels enllaços, modificant d'aquesta manera l'amplada de banda disponible, així com el retard present en els enllaços.

Aquest tipus de xarxes poden funcionar d'una manera autònoma, formant xarxes aïllades, o alguns dels seus dispositius pot fer les funcions de porta d'accés per la connexió a altres xarxes (tant cel·lulars com fixes).

En els seus inicis, les xarxes ad hoc es consideraven únicament per aplicacions militars ja que una arquitectura de xarxa descentralitzada es un avantatge i, a la vegada, una necessitat. Però de mica en mica s'han anat trobant els beneficis d'utilitzar aquest tipus de xarxes en el àmbit comercial. Com a exemples d'això tenim:

- Entorn de la ciutat: La formació de xarxes ad hoc podria també servir com accés inalàmbric públic en zones urbanes, proporcionant un ràpid desplegament y una extensió de la cobertura de xarxes cel·lulars o WLANs. També es poden tenir xarxes de taxis, comunicacions en estadis esportius, etc.
- Nivell local: A nivell local, les xarxes ad hoc que enllacen ordenadors portàtils o de mà (palmtop) podrien ser utilitzades per difondre i compartir informació entre els participants d'una conferència .
- Situacions extremes i d'emergència: Les operacions de rescat en zones remotes, o quan la cobertura local ha de ser desplegada en un lloc de construcció.
- Xarxes domèstiques: També podrien ser apropiats per l'aplicació en xarxes domèstiques , on els dispositius poden comunicar-se directament per bescanviar informació com àudio/vídeo, sensors, alarmes i actualitzacions de configuració.

Comparades amb les xarxes cel·lulars, les xarxes ad hoc són més adaptables als canvis de la demanda de tràfic i a les condicions físiques. També, donat que les característiques d'atenuació dels medis inalàmbrics no són lineals, l'eficiència energètica serà potencialment superior i l'augment de la reutilització espacial produirà una major capacitat i, conseqüentment, una millor eficiència espectral.

Aquestes característiques fan atractives les xarxes ad hoc per comunicacions omnipresents, un concepte que està estretament vinculat a xarxes heterogènies i arquitectures 4G.

La necessitat d'autoconfiguració i flexibilitat a varis nivells (per exemple, encaminament dinàmic o control d'accés al medi distribuït) planteja molts problemes nous en aquest tipus de xarxes.

A continuació es resumeixen alguns dels principals problemes de seguretat existents en les xarxes mòbils ad hoc:

- *Comportament egoista (Selfish Behavior)*: Quan un node decideix no invertir recursos en participar activament en la xarxa, o bé no retransmetre els paquets que rep d'altres nodes o modificar els paquets eliminant-se a ell mateix de la ruta perquè els paquets posteriors mai li arribin a ell.
- *Comportament maliciós (Malicious Behavior)*: Un node implicat pot realitzar atacs de denegació de serveis que poden ser molt variats. Des de inundar la xarxa amb paquets erronis per interferir el canal de comunicació, a manipular les rutes amb objectius específics (creació dels anomenats "forats negres" o cicles), entre altres.
- *Suplantació d'identitat (Identity Spoofing)*: Un node maliciós pot intentar suplantar l'identitat d'un altre a fi de guanyar privilegis de participació en la xarxa. Les aproximacions actuals per tal d'evitar (o al menys mitigar) aquests tipus d'atacs, es basen preferentment en dues categories:
 - Identificació dels nodes: A fi d'evitar la suplantació d'un node per un altre, aquesta identificació pot realitzar-se mitjançant claus criptogràfiques que, a més a més, ofereixen l'encriptat del tràfic que viatja entre nodes.
 - Seguretat en els protocols d'encaminament: Utilitzant tècniques criptogràfiques, és possible evitar la manipulació dels paquets durant el procés d'encaminament, molts són els algorismes proposats amb aquesta finalitat.

Els protocols d'encaminament per xarxes multi salt inalàmbriques són dinàmics degut al potencial del node i la mobilitat del enllaç. Els protocols d'encaminament "unicast" poden ser classificats de la següent manera:

- Proactius i Reactius. En els protocols d'encaminament proactius totes les rutes a tots els possibles destins són calculades a priori i, també, es mantenen actualitzades i consistents en tot moment, utilitzant missatges d'actualització periòdics i "broadcast". Aquests protocols introdueixen cert nivell de

sobrecàrrega ja que fins i tot quan no es transmeten dades, es necessària la senyalització. Els protocols reactius, en canvi, es basen en el càlcul de la ruta òptima fins un determinat destí únicament quan és necessari. Aquests protocols intenten reduir la sobrecàrrega generada pels missatges d'actualització de rutes periòdiques dels protocols proactius.

- Basats en la localització i no basats en la localització. Els protocols basats en la localització són protocols on existeix algun medi pel qual els nodes poden obtenir coneixement sobre la seva posició física (o geogràfica) respecte als altres nodes, tals com la distància o l'angle. Els protocols no basats en la localització, no es basen en aquesta informació: els nodes només coneixen els enllaços que estan actius. També difonen informació topològica sobre quins parells de nodes són veïns immediats.
- Jeràrquics i plans. Especialment en grans xarxes ad hoc, la organització dels nodes en clústers per propòsits d'encaminament pot incrementar l'eficiència del protocol d'encaminament. També, el fet d'introduir jerarquies de protocols d'encaminament pot ser aplicat per distingir rutes pertanyents a la xarxa ad hoc tan sols des de rutes que enllacin les xarxes ad hoc amb una porta d'accés a una xarxa fixa.

Aquestes xarxes es poden formar sobre diverses tecnologies base inalàmbriques, com les xarxes WLAN (Wireless LAN) definides al estàndard 802.11 o les WPAN (Wireless Personal Area Networks) definides a dos estàndards: al 802.15 i al estàndard Bluetooth.

Es tracta de connexions formades per un o més salts on, els nodes intermedis, envien els paquets cap a la destinació final i contenen amb el suport necessari per permetre la comunicació eficient entre nodes que estiguin relativament allunyats. Es a dir, en les xarxes ad hoc, els nodes es comuniquen amb destins llunyans utilitzant nodes intermedis d'enllaç.

Com tota xarxa basada en múltiples salts (multi-hop), el rendiment es veurà disminuït proporcionalment al nombre de salts de cada connexió ja que com més nodes enllaç s'utilitzin, més perdrem en eficiència.

Donat que aquests nodes presenten una limitació d'energia, no sempre interessarà que el node accepti peticions de enllaç. D'altra banda, si tots els nodes decideixen en no gastar energia en enllaçar, el rendiment del sistema cau d'una forma molt brusca. En aquest projecte s'intentarà fer una aproximació subjectiva de com es treballa la cooperació en xarxes ad hoc sense fils.

El que assumim es que els nodes són racionals i, per tant, les seves accions venen estrictament determinades pel seu propi interès. Cada node té associada una mínima limitació del temps de vida. Així doncs, tenint en compte aquests factors es pot arribar a determinar el rendiment òptim que cada node hauria de rebre com el *Pareto optimal operating point*.

Les xarxes ad hoc sense fils presenten un compromís entre temps de vida i rendiment ja que si un node rebutja totes les peticions d'enllaç que rep per tal de no gastar el seu temps de vida, el que estarà fent serà disminuir el rendiment de la xarxa. D'altra banda, si decideix acceptar molt freqüentment enllaços acabarà disminuint la seva energia i, conseqüentment, el seu temps de vida molt ràpidament.

La idea per aconseguir el equilibri en aquestes xarxes és la d'utilitzar algoritmes d'acceptació que decidiran si un determinat node ha d'acceptar o rebutjar una petició d'enllaç. Tot i així, aquests algoritmes busquen aquest equilibri comparant el consum d'energia de tots els nodes per tal que tots els nodes de la xarxa vagin disminuint la limitada energia al mateix temps i, d'aquesta manera, evitar que nodes esgotin els seus recursos massa aviat.

Així doncs, considerarem un nombre finit de N nodes (p.e. estudiants en un campus). Cada node, depenent del seu tipus (sensor, laptop, PDA, telèfon cel·lular), estarà associat amb una limitació mitja de potència que surt de dividir la energia inicial amb el temps de vida esperat.

Considerarem que el temps està dividit en ranures i que cada sessió n'ocupa una. Per tant, al començament de cada ranura, la font, el destí i els enllaços són triats aleatòriament dels N nodes per formar una xarxa ad hoc.

Es a dir, el node font farà la petició als nodes enllaç que formaran la ruta per enviar el seu tràfic cap al node de destí. Si algun d'aquests nodes rebutja la petició de la font, la connexió es bloqueja i es torna a realitzar el mateix procediment anterior.

Per cada node, es defineix el paràmetre NAR (Normalized Acceptance Rate) com la relació entre el nombre de peticions d'enllaç correctes generades per un node i el nombre total de peticions d'enllaç fetes per aquest node, i ens dóna una aproximació del rendiment experimentat pel node.

Troblem que hi ha una relació existent entre la NAR i el Pareto òptim esmentat anteriorment, es a dir, els valors de NAR els quals un node no pot millorar més la seva NAR sense disminuir la NAR d'un altre node.

2.1 Model de xarxa

Considerem un nombre finit de N nodes distribuïts en K classes. Tots els nodes d'una determinada classe i , estaran associats amb una determinada limitació d'energia E_i i el temps de vida esperat vindrà donat com L_i .

Així doncs, la limitació mitjana de potència serà $\rho_i = \frac{E_i}{L_i}$. Donat que el sistema opera en temps discret, a cada ranura qualsevol dels N nodes pot ser triat com a font amb la mateixa probabilitat. M és el nombre màxim de enllaços que la font pot utilitzar per enviar tràfic al node destí.

Per simplicitat, assumirem que $M \geq 1$ (al menys un enllaç en cada sessió). Cada node enllaç pot ser triat amb la mateixa probabilitat del conjunt de $N-1$ nodes restants en el sistema (li restem el node font).

Quan ja s'han triat els nodes que faran d'enllaç, aquests tenen l'opció de acceptar o rebutjar la petició per part del node font d'enviar tràfic al node destí. Si la font rep que el node rebutja la petició, la sessió es bloquejada. Cal tenir en compte que la interacció entre dos nodes es dominada pel node amb menys limitació de potència (ρ_i).

Els nodes gasten energia tant transmetent, rebent com processant tràfic, però s'assumirà que la font dominant de consum d'energia serà la gastada en transmetre informació. De totes formes, aquest consum d'energia dependrà també de factors externs com les condicions del canal, el tamany del fitxer, etc.

Així per un node h , entenem per $B_h^j(k)$ com el nombre de peticions d'enllaç generades pel node h , per una sessió tipus j i durant un temps k . Igualment, entenem per $A_h^j(k)$ com el nombre de peticions d'enllaç generades pel node h , per una sessió tipus j que han estat acceptades en un temps k .

De la mateixa manera, es defineix $D_h^j(k)$ com el nombre de peticions d'enllaç fetes cap al node h en una sessió tipus j i un temps k . Igualment, es defineix $C_h^j(k)$ com el nombre de peticions d'enllaç fetes cap el node h per una sessió tipus j , que han estat acceptades pel node h en un temps k .

Finalment, denotem $\phi_h^j(k) = A_h^j(k)/B_h^j(k)$, i $\psi_h^j(k) = C_h^j(k)/D_h^j(k)$, i podem expressar el valor de NAR com: $NAR = \lim_{k \rightarrow \infty} \phi_h^j(k)$, que es definit per cada node i tipus de sessió.

El conjunt de valors de NAR que reben els usuaris es funció del algoritme d'acceptació utilitzat pels nodes que actuen d'enllaç. Tal com hem comentat anteriorment, considerem que els nodes són racionals i que les accions que prenen venen

determinades pel seu propi interès. Tenint en compte aquests punts claus de comportament, podem identificar un conjunt de valors de NAR tals que:

- Coneixen les limitacions d'energia dels altres nodes.
- Són valors de Pareto òptim (equilibri entre NAR de diferents nodes).
- Tots els usuaris racionals trobaran la ubicació més favorable i seguidament acceptaran l'enllaç.

Per tal de trobar les possibles regions d'operació, assumim que els nodes adopten una conducta estacionaria, es a dir, un node de classe i en una sessió de tipus j accepta la petició d'enllaç amb probabilitat τ_{ij} . Considerem un node p participant en una sessió tipus j ($1 \leq j \leq K$). La energia mitja (per ranura) gastada pel node actuant com a font ve determinada de la següent manera:

$$e_{pj}^{(s)} = \frac{1}{N} \cdot NAR = \frac{1}{N} \cdot \sum_{l=1}^M \sum_{h1, \dots, hj} q(l) \Gamma(l; h1, \dots, hj) \tau_{1j}^{h1} \dots \tau_{jj}^{hj} \quad (1)$$

On:

- $\frac{1}{N}$ es la probabilitat que el node p sigui triat com a font.
- $\tau_{1j}^{h1} \dots \tau_{jj}^{hj}$ és la probabilitat que tots els nodes que han de fer d'enllaç acceptin la petició.

La energia mitja (per ranura) gastada pel node actuant com enllaç ve donada per la següent equació:

$$e_{pj}^{(r)} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{l=1}^M l \cdot q(l) \sum_{h1, \dots, hj} \Gamma(l-1; h1, \dots, hj) \tau_{1j}^{h1} \dots \tau_{jj}^{hj} \cdot \tau_{class(p)j} \quad (2)$$

On:

- $\frac{l}{N}$ és la probabilitat que el node p sigui triat com un dels nodes enllaç.

La possible regió d'operació pels diferents valors de τ_{ij} , es definida per les següents condicions:

$$\sum_{j=1}^K e_{pj}^{(s)} + e_{pj}^{(r)} \leq p_{class(p)} \quad 1 \leq p \leq N$$

$$\tau_{\text{class}(p)j} \in [1,0] \quad 1 \leq j \leq K; 1 \leq p \leq N \quad (3)$$

On la $\text{class}(p)$ és la classe a la qual pertany el node p . Així doncs, el valor del Pareto òptim dels diferents valors de τ_{ij} pot ser tret imposant les relacions anteriors.

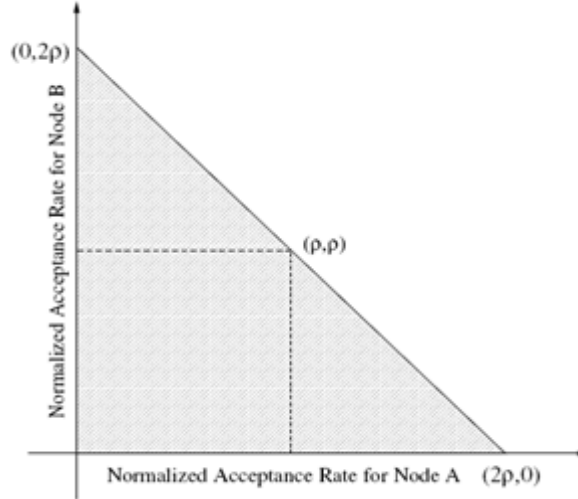


Figura 2 . Possible regió d'operació per $N=2$, $K=1$, $\rho=0.5$. [1]

A la Figura 2 podem veure representat un exemple d'un sistema amb dos nodes (A i B) que pertanyen a la mateixa classe i tenen associat una limitació de potència p . Assumirem que els dos nodes volen transmetre cap un punt d'accés d'Internet, i $M=1$ (tan sols un node intermedi d'enllaç entre font i destí). En aquest cas, la possible regió d'operació per les diferents NARs ve delimitada pel segment que va del punt $(0, 2p)$ al punt $(2p, 0)$.

Mitjançant les premisses anteriors podem veure que mentre s'estigui operant a qualsevol dels punts en aquesta regió, ambdós nodes estan consumint energia al màxim permès. Llavors un node no podrà millorar el seu valor de NAR sense disminuir el valor de NAR del altre node.

Per tant, podem veure que el únic punt d'operació de Pareto òptim acceptable pels dos nodes és el punt (p, p) , ja que qualsevol punt que no sigui aquest presentarà un desequilibri entre la NAR del node A i la NAR del node B.

2.2 Model del algoritme de retransmissió de paquets: nodes terrestres

A continuació es presenta un algoritme (distribuït i escalable) d'acceptació el qual impulsa als nodes a operar al punt de valors de NAR que compleixen el Pareto òptim explicat anteriorment. Aquest algoritme és anomenat: Generous TIT-FOR-TAT (GTFT). En una xarxa basada en nodes que funcionen per propi interès, cada node decidirà les accions que cregui que li poden proporcionar el màxim benefici possible.

Primerament, no ens hem de basar en una política aleatòria estacionaria. Si un node pertanyent a una classe i rep una petició d'una sessió tipus j , una possible acció realitzable per aquest node serà la d'acceptar la petició amb probabilitat τ_{ij} . Si tots els nodes decideixen seguir la mateixa conducta, els diferents valors de τ poden ser emprats per assolir el punt òptim d'operació.

De totes maneres, en el nostre sistema, qualsevol estratègia estacionaria és dominada sempre per la negació de la conducta. Conseqüentment, les estratègies estacionaries no són sostenibles i, en canvi, les estratègies basades en el comportament són requerides amb la finalitat d'estimular la cooperació.

Per estratègies basades en el comportament, s'entén que un node basa la seva decisió en el comportament passat dels altres nodes que formen el sistema. La segona característica, que ens agradaria que tingués el algoritme d'acceptació, és protecció contra la explotació. Per tant, el algoritme ha de ser escalable.

Aquest algoritme es pot comparar amb el exemple del dilema dels presoners. En aquest exemple, dues persones són acusades d'homicidi. El processament promet que, si exactament un d'ells confessa, el confessor es posat en llibertat, mentre que el altre va deu anys a la presó. En canvi si els dos confessen, cadascú va cinc anys a la presó. La Figura 3 presenta les penes depenent de si confessa un, l'altre o ambdós.

P1 \ P2	Confess	Not Confess
Confess	(5,5)	(0,10)
Not Confess	(10,0)	(1,1)

Figura 3. Matriu de sentències pel dilema dels presoners.

Senzillament, podem veure com la millor estratègia per beneficiar-se ambdós presoners seria la de no confessar. D'altra banda, des de la perspectiva del primer presoner, P1, la seva pena es veu disminuïda si confessa, independentment del que faci l'altre presoner P2. Si aquest segon presoner actua de manera similar, la única estratègia acceptable és que els dos confessin.

Finalment, si aquest dilema s'anés repetint com un joc, es mostraria com el comportament cooperatiu és important alhora d'escollir una bona estratègia que beneficiï a ambdues parts.

Una estratègia ben coneguda per assolir aquest estat de diferents factors coincidint per assolir el equilibri, és el algoritme d'acceptació Generous TIT-FOR-TAT (GTFT). La estratègia que empra el GTFT és que cada participant copii la conducta que els altres participants van dur a terme en el passat.

Cada node manté una memòria de la seva experiència passada fent servir les dues variables: Φ_h^j i Ψ_h^j , definides anteriorment. La informació guardada és per tipus de sessió i no manté guardada informació individual referent al seu comportament amb cada node que està dins de la mateixa xarxa.

Pel que fa les decisions, sempre són preses pels nodes que actuen d'enllaç i estan basades en els valors de Φ_h^j i Ψ_h^j . Primerament considerarem un sistema amb N nodes, K classes i M=1 (cada sessió utilitza tan sols un node enllaç). Llavors, un determinat node h rebrà una petició d'enllaç d'una sessió tipus j.

Haurem de tenir en compte el valor de ϵ , que fa referència al grau de generositat (GoG) dels nodes a la xarxa i que es tracta d'un nombre positiu i petit. Quan ϵ és negatiu, els nodes tan sols miren pel seu propi benefici i són molt egoistes, fent així que el rendiment de la xarxa decaigui bruscament. Quan $\epsilon=0$, el comportament dels nodes depèn dels valors inicials de Φ i Ψ .

Finalment, amb totes aquestes premisses inicials, podem definir el algoritme d'acceptació anomenat GTFT com:

- Si $\Psi_h^j(k) > \tau_j$ o $\Phi_h^j(k) < \Psi_h^j(k) - \epsilon$ Rebutja
- Sinó Accepta

Podem veure que el algoritme es basa en dues condicions bàsiques alhora de rebutjar una petició d'enllaç:

- $\Psi_h^j(k) > \tau_j \rightarrow$ Si el node h ha acceptat més tràfic per peticions de sessió tipus j de les que pot acceptar.

- $\phi_h^j(k) < \psi_h^j(k) - \epsilon \rightarrow$ Si el total del tràfic enllaçat per un node h en sessions tipus j és millor que el total de tràfic enllaçat per un node h cap a altres nodes en sessions j .

Com podem comprovar en la segona condició bàsica, des de que ϵ és positiu els nodes van augmentant la seva generositat actuant de nodes enllaç, tot i que no hagin rebut una quantitat recíproca d'ajuda per part d'altres nodes.

Així doncs, podem definir les tres propietats d'aquest algoritme com:

- No es tracta d'una estratègia estacionària.
- La decisió de cada node és presa basant-se en informació recopilada localment.
- Es tracta d'un algoritme escalable.

2.3 Model del algoritme de retransmissió de paquets: inserció d'un node satèl·lit.

Mitjançant el algoritme presentat anteriorment (punt 2.2), podem presentar el escenari en el qual serà desenvolupat. Es tracta d'una xarxa ad hoc en una zona rural on tindrem bastants nodes locals i un enllaç extern.

Com ja sabem, els nodes es comuniquen amb destins llunyans utilitzant altres nodes intermedis d'enllaç. Aquests nodes, tenen energia finita, i pot ser consumida actuant com a font o com a enllaç. Per tant, podem analitzar el escenari com un joc basat en la cooperació, es a dir, cada node haurà d'escollir entre compartir la seva pròpia energia (en benefici d'altres nodes) o ser egoista.

Així doncs, els nodes poden actuar com a jugadors dins d'aquest joc amb les següents característiques:

- Intel·ligència: Han de ser conscients de com les accions que triïn poden influenciar en el seu resultat.
- Racionalitat: Les accions han de ser pressos pel seu propi interès.

D'aquestes característiques, dependrà si són o no egoistes i, conseqüentment, si el rendiment total de la xarxa disminueix fins a tocar valors nuls. Per tant, per evitar aquest fet es necessari un algoritme d'acceptació que permeti treballar en el punt òptim.

Per començar, estudiarem un cas particular del escenari presentat considerant dos tipus de nodes:

- Nodes transportables: N nodes amb una limitació d'energia donada per E_i .
- Node satèl·lit: Sense restricció energètica. Està relacionat amb el tràfic extern de la xarxa, definint una certa probabilitat que fixa el percentatge de paquets externs (p_s).

Com hem comentat en el punt anterior, el algoritme que serà utilitzat és el GTFT. En aquest algoritme (de recompensa), als nodes se'ls hi assigna un grau de generositat (ϵ) i, també, recorden la seva experiència passada. Depenent d'aquestes dues variables, els nodes decideixen acceptar peticions d'enllaç o, bé, rebutjar-les.

Si recordem el primer punt, veiem com les dues variables definides per recordar la experiència passada, són:

$$- \quad \phi_h^j(k) = A_h^j(k) / B_h^j(k) \quad (4)$$

$$- \quad \psi_h^j(k) = C_h^j(k) / D_h^j(k) \quad (5)$$

On, finalment, el valor de NAR és: $NAR = \lim_{k \rightarrow \infty} \phi_h^j(k)$. La mitjana del valor de $\phi_h^j(k)$, de cada tipus de node, ens determinarà el rendiment total de la xarxa.

Per tant, haurem de considerar que la ruta entre qualsevol parella origen - destí, consisteix exactament en un node enllaç ($M=1$) i també considerarem, dues classes ($K=2$):

- Classe 1 (laptops i/o sensors).
- Classe 2 (satèl·lit).

Cal recalcar, que els nodes laptop envien paquets exteriors amb probabilitat p_s , de que el node satèl·lit és el destí. Aquest node satèl·lit pot actuar d'enllaç, però tan sols pot

ser escollit aleatòriament amb la mateixa probabilitat que un node de classe 1, per evitar desequilibris en el tràfic de la xarxa.

Així doncs, assumint el fet que els nodes adopten una política estacionaria, definim τ_i com la probabilitat d'acceptar peticions d'enllaç per un node de classe i.

Podem recordar els paràmetres relacionats vistos anteriorment, que fan referència a l'energia gastada per un node actuant com a font o com enllaç, com es mostra en (6):

$$\begin{aligned} e_s &= \frac{1}{N} \cdot NAR \\ e_r &= \frac{1}{N} \cdot \tau \end{aligned} \quad (6)$$

Podem veure com quan més probabilitat tingui un node de ser escollit per actuar d'origen o d'enllaç, més energia consumirà. El punt de funcionament òptim pot ser extret de les següents equacions (7):

$$\begin{aligned} e^{(s)} + e^{(r)} &= \rho \\ \tau &\in [0,1] \end{aligned} \quad (7)$$

On considerant un node laptop (classe 1), podem desenvolupar l'anterior equació (7) fins a trobar el valor concret per el escenari que estem estudiant:

$$\begin{aligned} e_s &= \frac{1}{N} \left[\left(\frac{N-1}{N} \tau + \frac{1}{N} \right) (1 - p_s) + \frac{1}{N} \tau p_s \right] \\ e_r &= \frac{1}{N} \cdot \tau \end{aligned} \quad (8)$$

Finalment, de les anteriors equacions podem extreure el punt òptim de funcionament que dependrà de paràmetres, tan importants, com el nombre de nodes i el valor de p_s (9).

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{\rho N^2 + p_s - 1}{2N + 2p_s - 1 - Np_s} \\ \tau &\in [0,1] \end{aligned} \quad (9)$$

El valor de τ , com ja hem dit, es refereix a la probabilitat que els nodes acceptin les peticions que se'ls fan per fer de nodes enllaç entre un node origen que es vol comunicar amb un node destí.

Per tant, per assolir un equilibri i un funcionament òptim de la xarxa, hem de tenir en compte aquest valor de τ trobat per poder controlar la dinàmica del sistema i equilibrar el compromís existent entre rendiment i energia.

3 Propagació en el canal mòbil

3.1 Propagació en xarxes ad hoc

El canal de ràdio mòbil és una de les principals limitacions en la evolució dels sistemes de comunicació inalàmbrics. Entre tots els paràmetres, el soroll, les interferències i altres impediments del canal són paràmetres variants en el decurs del temps, que fan que el moviment del usuari sigui impredecible .

La ruta de transmissió entre transmissor (Tx) i receptor (Rx) pot variar des d'una tan simple com "línia de vista" (LOS) fins una ruta que podria estar severament obstruïda per vegetació, muntanyes o edificis. A diferència dels canals per cable que són fixos, estacionaris i predictibles, els canals ràdio són extremadament aleatoris y no són fàcils d'analitzar. Fins i tot la velocitat del mòbil en moviment té una gran influència amb la rapidesa en que decau la senyal.

El modelat del canal ràdio mòbil ha sigut, històricament, un dels passos més complicats en el disseny de sistemes de radiocomunicació i típicament es realitza de manera estadística, basant-se en mesures fetes específicament per un sistema de comunicació o una part del espectre.

Els mecanismes que estan darrere de la propagació d'ones electromagnètiques (EM) són diversos, però generalment poden ser atribuïts a:

- Reflexió
- Refracció
- Difracció
- Dispersió

La majoria dels sistemes de ràdio cel·lular operen en zones urbanes on no hi ha línia de vista directa entre transmissor i receptor, en aquests casos la presència de construccions d'altura considerable provoca varies pèrdues per difracció. Degut a les múltiples reflexions de la senyal en diversos objectes durant un determinat recorregut, les ones electromagnètiques (la senyal) viatgen per diferents o diverses rutes de longituds no iguals. La interacció entre aquestes ones electromagnètiques, provoca la atenuació per multi-trajecte en una ubicació específica i la potència d'aquestes ones disminueix conforme s'incrementa la distància recorreguda (distància existent entre transmissor i receptor).

Els models de propagació s'han enfocat, tradicionalment, en preveure la potència mitja rebuda a una donada distància del transmissor, així com les variacions de la potència de la senyal en les proximitats d'un emplaçament o punt particular.

Els models de propagació que prediuen la potència mitja de la senyal per qualsevol distància de separació entre Tx i Rx (distància de separació arbitrària) són útils per estimar l'àrea de cobertura de ràdio d'un transmissor i es coneixen amb el nom de Models de Propagació a Gran Escala perquè modelen la potència de senyal per distàncies de separació entre Tx i Rx grans (sobre els km).

En canvi, per caracteritzar les variacions ràpides de la potència de la senyal rebuda sobre distàncies molt curtes (unes quantes longituds d'ona) o per temps de recorregut molt petits (pocs segons) s'utilitzen els Models de Propagació de Petita Escala o Models d'Esvaniments.

Els models de propagació per ràdio freqüència (RF) sorgeixen per la necessitat de modelar una zona geogràfica de terreny irregular per així poder preveure les pèrdues a través del camí cap al receptor ("Path Loss"), existeixen una gran quantitat de factors a tenir en compte com:

- Un perfil del terreny de la zona a modelar (zona de cobertura)
- Presència d'obstacles (edificis, arbres, etc)

La senyal rebuda en una comunicació mòbil està afectada per tres tipus de pèrdues ben diferenciades:

- Pèrdues per propagació.
- Pèrdues per configuració del terreny.
- Pèrdues per efecte multi-trajecte.

Les pèrdues per propagació són les degudes a la distància que separa el emissor del receptor. En l'espai lliure, les pèrdues per propagació són inversament proporcionals al quadrat de la distància entre els dos.

El terme quadràtic es justifica en el fet que la potència radiada en l'espai lliure es reparteix sobre una superfície esfèrica on l'àrea de la qual es proporcional al quadrat del radi de la mateixa.

A la pràctica, amb motiu de la reflexió de la senyal sobre el terra es produeix un canvi de fase en la senyal reflectida, aquest fet comporta una suma destructiva de senyals deguda a la diferència en els camins recorreguts per el raig directe i el raig reflectit en la majoria dels casos.

Les pèrdues per configuració del terreny (o esvaniments lents), resulten del entorn que rodeja en tot moment el transmissor i el receptor. Però, a diferència del efecte multi-trajecte, tenen una variació temporal lenta.

Aquests esvaniments lents es deuen, generalment, a la presència d'algun tipus d'obstacle de grans dimensions que impedeix la visió directa entre emissor i receptor (LOS). Aquest fet contribueix a una atenuació addicional que es suma a les pèrdues per distància.

L'estadística més utilitzada per simular aquest efecte és la Log-Normal (10). La funció densitat de probabilitat de les pèrdues per configuració del terreny és la següent:

$$f(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(r-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

Per últim, les pèrdues per efecte multi-trajecte es donen (en la major part dels casos) quan no hi ha visió directa entre Tx i Rx, de manera que la senyal recollida en el receptor és la suma de moltes senyals provinents de successives reflexions produïdes sobre els elements que envolten l'emissor i el receptor fins arribar a l'antena receptora. L'estadística més utilitzada per simular aquest efecte sol ser la Rayleigh (11), on la funció densitat de probabilitat del valor de l'atenuació és el següent:

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

Tot i que la naturalesa de cada una de les pèrdues és diferent, la senyal rebuda està afectada per la superposició dels tres efectes nombrats anteriorment i, en molts casos, resulta difícil separar un efecte de la resta degut a la interrelació que existeix.

Per aquesta finalitat molts científics al llarg de la història han proposat varis models, els quals apunten a preveure la potència de la senyal en un punt específic de recepció dins d'una àrea, però aquest mètodes varien en l'enfocament, complexitat i precisió. En la seva majoria, estan basats en l'interpretació de mesures en diversos tipus d'àrees de servei.

A mesura que un mòbil es mou o es desplaça sobre distàncies molt curtes, la potència instantània rebuda pot variar ràpidament donant lloc a lo que coneixem com: Esvaniment de Petita Escala. Ja que la senyal rebuda és la suma de varies contribucions, les quals arriben de diferents direccions (degut a difracció i refracció).

La fase d'aquestes senyals és diferent i aleatòria i, per tant, la suma d'aquestes contribucions varia molt. La mitjana de la potència rebuda es calcula amitjanant

senyals rebudes en una àrea de 4λ o 5λ (per freqüències cel·lulars y de PCs, 1 GHz a 2 GHz, es correspon a mesurar la potència promig rebuda en moviments d'1 a 10 metres).

Les ones de ràdio tenen un comportament molt similar a les ones de llum. La propagació de RF (RadioFreqüència) es dona en diversos modes i en algunes aplicacions (i sota algunes condicions) el seu estudi i anàlisi pot arribar a ser molt complicat (telefonía cel·lular en ambient urbà dens) o relativament senzill (enllaç LOS per microones terrestres). Qualsevol que sigui el cas, la propagació de RF sempre es basa o s'explica mitjançant els 4 mecanismes principals enunciats anteriorment.

La reflexió es dona quan una senyal electromagnètica, que s'està propagant, impacta contra un objecte les dimensions del qual són molt més grans que la longitud d'ona (λ) de la senyal i que té diferents propietats elèctriques. Un percentatge de la senyal es transmesa dins del objecte (per materials no conductors perfectes) i un altre percentatge és reflectit. La senyal es reflexa seguint l'enunciat de la llei de Snell, que diu que el angle de reflexió és igual al angle d'incidència.

La difracció de les senyals de ràdio es la corba que realitzen les senyals al voltant d'un objecte, i la qual provoca un canvi de direcció de la senyal. La quantitat de curvatura s'incrementa quan el grossor dels objectes es redueix o quan augmenta la longitud d'ona (λ). A freqüències altes, tant la difracció com la reflexió depenen de la geometria del objecte, l'amplitud, la fase i la polarització de la senyal en el punt de difracció.

Aquest mecanisme es pot explicar mitjançant el fenomen de Huygens (tots els punts que formen el front d'ona d'una senyal es poden considerar fonts puntuals que produeixen ones més petites anomenades secundàries) i per les zones de Fresnel. Així doncs, la intensitat de senyal rebuda decau ràpidament conforme el receptor entra més en la zona obstruïda.

La dispersió es basa en l'impacte d'una senyal de ràdio contra una superfície rugosa o aspre i la energia reflectida és difosa en varies direccions. Aquest fenomen es dona quan la senyal viatja per un medi que conté obstacles de petites dimensions comparades amb la longitud d'ona de la senyal i el nombre d'aquests, per unitat de volum, és elevat (arbres, vegetació, senyals, punts de llum, etc).

Per últim, la refracció és el canvi de direcció (curvatura) d'una senyal electromagnètica quan aquesta és transmesa d'un medi a un altre, sempre i quan aquests tinguin un índex de refracció (n) diferent, tal i com succeeix amb la llum. Es a dir, la senyal incideix sobre un medi diferent amb un determinat angle d'incidència i és transmesa dins d'aquest amb un determinat angle de transmissió. Aquests angles estan relacionats mitjançant la llei de Refracció de Snell.

3.2 Model de propagació utilitzat

Existeixen una gran quantitat de models de propagació que modelen un conjunt d'escenaris diferents. A continuació en nombrarem els més significatius i agafarem el correcte per estudiar el nostre escenari de comunicació entre nodes dins d'una xarxa ad hoc mòbil.

Podem començar parlant del *Model de Propagació a l'Espai Lliure*. Aquest model és utilitzat per preveure la potència de senyal quan entre el transmissor i el receptor existeix una clara línia de vista (LOS) sense obstacles. Els sistemes de comunicació per satèl·lit i els enllaços microones poden ser modelats com propagació en l'espai lliure.

Les senyals electromagnètiques difereixen en energia d'acord a la seva longitud d'ona (freqüència). La seva habilitat per propagar-se també es modifica en diferents ambients de propagació. Aquest model prediu que la potència rebuda decreix en funció de la distància de separació entre transmissor i receptor elevada a una gran potència.

La potència rebuda en l'espai lliure per una antena receptora que està separada de la antena receptora una distància d , ve donada per la equació del espai lliure de Friis (12):

$$P_r(d) = \frac{(P_t G_t G_r \lambda^2)}{4\pi^2 d^2 L} \quad (12)$$

On,

P_t és la potència transmesa en Watts, P_r és la potència rebuda en Watts (que depèn de la distància Tx-Rx), G és el guany de l'antena transmissora i receptora, d la distància en metres, L és el factor de pèrdues i λ és la longitud d'ona expressada en metres.

Les pèrdues L són normalment degudes a l'atenuació de la línia de transmissió, a les pèrdues per filtres, i a les pèrdues de l'antena en el sistema de comunicació. Quan $L=1$ voldrà dir que en el sistema estudiat no hi ha pèrdues d'aquest tipus.

L'equació anterior mostra com la potència de la senyal rebuda s'atenua conforme el quadrat de la distància entre Tx i Rx, que implica que decau 20 dB/dècada. Les pèrdues per trajectòria representen l'atenuació de la senyal com una quantitat positiva mesurada en dB.

El *Model de Propagació de Dos Raigs (Reflexió Terrestre)* és un model molt útil basat en òptica geomètrica, i considera tant la transmissió directa com una component de propagació reflectida a la terra entre el transmissor i el receptor. Es pot considerar que aquest model de gran escala és un dels més adequats per preveure la potència de la senyal en distàncies de varis kilòmetres. En la figura 4 es mostra un esquema del model esmentat.

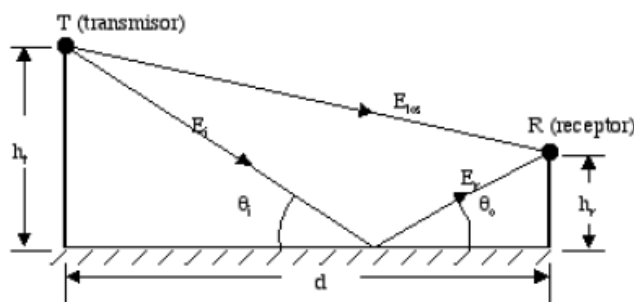


Figura 4. Model de dos raigs. [6]

El segment de separació entre transmissor i receptor pot considerar-se pla, ja que en la majoria dels sistemes en que s'empria aquest model (sistemes cel·lulars) la distància real entre Tx i Rx sol ser d'unes quantes desenes de kilòmetres.

En aquest model, la potència rebuda a una distància d provinent del transmissor pot ser expressada com:

$$P_r = \frac{P_t G_r G_t h_r^2 h_t^2}{d^4} \quad (13)$$

On, assumint que per grans distàncies ($d \ll h_r, h_t$), l'equació final expressada en decibels (dB) és:

$$P_L(dB) = 40 \log d - (10 \log G_r + 10 \log G_t + 20 \log h_r + 20 \log h_t) \quad (14)$$

A través dels anys, ha cobrat una major importància l'estudi d'aquesta àrea de les comunicacions inalàmbriques pel creixement urbà i per la, cada cop més gran, demanda de comunicacions. L'estudi d'aquesta part de les telecomunicacions va tenir el seu inici a Japó cap els anys setanta, sent el japonès Okumura un dels primers científics en realitzar un estudi que es va basar en mesures experimentals realitzades al seu país.

El mètode que va utilitzar aquest científic era laboriós ja que requeria certa interpretació gràfica del model, ja que va ser realitzat únicament per la zona urbana de Japó. Per aquest motiu, van ser molts científics els que es van interessar en continuar els estudis i generalitzar-los a totes les zones. Un dels més destacats fou Masaharu Hata, que va definir mitjançant equacions matemàtiques els estudis que havia realitzat Okumura. El *Model d'Okumura* es pot expressar segons la següent equació:

$$L_{50}(dB) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{ts}) - G(h_{rs}) - G_{AREA} \quad (15)$$

On,

$L_{50}(dB)$ és l'atenuació mitjana per trajectòria, L_F és l'atenuació d'espai lliure, $A_{mu}(f, d)$ és l'atenuació relativa mitjana (corbes), $G(h_{ts})$ i $G(h_{rs})$ fan referència als guanys de les antenes Tx i Rx respectivament i G_{AREA} és el guany degut al tipus d'ambient.

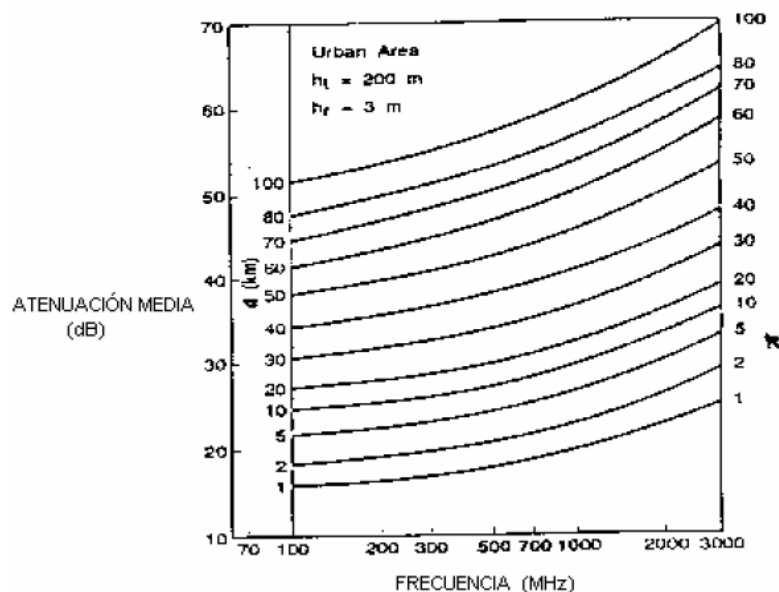


Figura 5. Taula emprada per Okumura per realitzar prediccions. [6]

És un dels models més simples i adequats per les prediccions d'atenuació per sistemes cel·lulars i sistemes de ràdio terrestre en ambients poblats. El seu desavantatge és que tot i ser bo en zones poblades, no és tan precís en zones rurals.

El *Model de Hata* i, posteriorment, el *Model de Cost 231* són una formulació empírica del model d'Okumura vist anteriorment.

Degut a la excessiva demanda en els serveis de comunicació mòbil, s'han implementat distribucions geogràfiques amb menys extensió. Resultant així la generació de “pico-celdas”, el propòsit de les quals és donar servei de comunicació a equips que es troben en edificis o corporatius.

Per lo tant, el anàlisis de les variables que intervenen en la propagació de les senyals en aquest tipus d'entorn difereix a l'establert, ja que la senyal es veu afectada per diferents causes com els materials emprats en la construcció, presència de finestres, nombre de pisos, etc.

La propagació en interiors considera els fenòmens de reflexió, dispersió i refracció vistos anteriorment; però sota condicions molt més variables que les que s'acostuma a considerar pels models anteriors. Les menors distàncies Tx-Rx dificulten assegurar la radiació en el camp llunyà per tots els receptors i tipus d'antenes.

Aquest tipus de propagació no està tant influenciada pel perfil del terreny com la propagació en ambients oberts, però pot ser afectada per l'estructura del edifici, especialment si hi ha varis tipus de materials de construcció en l'edifici.

La senyal transmesa arriba al receptor per més d'una trajectòria o ruta, a través de reflexió, reflexió, refracció i difracció de les ones de ràdio a causa d'objectes com parets, finestres i portes dins del edifici.

El model utilitzat per modelar aquest tipus de pèrdues de trajectòria en aquest entorn es denomina Model Log-distance, el qual indica que la potència mitjana de la senyal rebuda disminueix de manera logarítmica entre la distància del transmissor i el receptor. Per lo que la expressió corresponent al model ve donada per:

$$P_T(dB) = P_R(dB) + n \log d \quad (16)$$

On,

n depèn del medi de propagació específic i el tipus de material, P_T és la potència a transmetre expressada en dB, P_R és la potència rebuda expressada també en dB i, finalment, d és la distància expressada en metres.

En aquest tipus de comunicacions (per interiors) la senyal decau molt més ràpidament degut a factors com la mobilitat que pot afegir una atenuació addicional de fins a 10 dB. A la figura 6 és mostra la relació entre els diferents valors de n i la seva corresponent atenuació per diferents ubicacions i tipus de construccions.

Building	Frecuency (MHz)	n	sig (dB)
Retail stores	914	2.2	8.7
Grocery stores	914	1.8	5.2
Office, hard partition	1500	3	7
Office, soft partition	900	2.4	9.6
Office, soft partition	1900	2.6	14.1
Factory LOS			
Textile/Chemical	1300	2	3
Textile/Chemical	4000	2.1	7
Papers/Cereals	1300	1.8	6
Metalworking	1300	1.6	5.8
Suburban Home			
Indoor Street	900	3	7
Factory OBS			
Textile/Chemical	400	2.1	9.7
Metalworking	1300	3.3	6.8

Figura 6. Valors típics per diferents tipus d'edificis on sig (dB) equival a les pèrdues. [5]

Per la realització del estudi presentat en el cinquè punt, s'ha escollit aquest model de propagació anomenat Log-distance. Aquest model avalua l'atenuació de la potència de senyal transmesa amb la distància entre emissor i receptor.

Per tant, pel tipus de xarxes ad hoc estudiades en les quals la distància entre dispositius és un factor a tenir en compte ja que els nodes, al ser mòbils, poden estar canviant la seva ubicació respecte la topologia de la xarxa (dinàmica).

Normalment les distàncies entre node Tx i node Rx seran curtes, del ordre de metres i rarament majors que 500 metres. Per aquest motiu, ens interessa un model que ens mostri únicament l'atenuació de la potència amb la distància i que pugui modelar escenaris interiors i exteriors ja que aquestes xarxes tant es poden formar a dins d'un edifici com en un carrer.

4 El Rendiment en xarxes ad hoc cooperatives

En aquest apartat s'estudiarà el comportament d'una xarxa ad hoc formada per nodes mòbils, el algoritme explicat en els punts 2.2 i 2.3, en funció d'alguns paràmetres que es presentaran en el primer punt. El primer estudi es centrarà en l'anàlisi d'una xarxa formada, únicament, per nodes transportables (laptops i/o sensors). S'estudiarà el rendiment en funció d'altres factors com l'increment del nombre de nodes o de l'energia de la que disposen aquests.

En segon lloc, es realitzarà el mateix estudi però afegint un node satèl·lit al sistema per tal d'estudiar-ne els beneficis que comporta donada la seva no restricció d'energia. També analitzarem el rendiment en funció dels nodes de la xarxa i de la seva energia.

A continuació, ens centrarem en l'efecte d'aquest node satèl·lit afegit comparant les respostes amb i sense aquest node i, a continuació, s'avaluarà l'efecte del valor de probabilitat p_s . Aquest valor ens indicarà la rellevància del node satèl·lit en la dinàmica del sistema i, analitzarem l'increment de rendiment que suposa en la resta de la xarxa el fet d'augmentar aquest paràmetre.

Finalment, estudiarem el comportament de la xarxa quan un nombre determinat de nodes actuen en contra del benefici global, és a dir, nodes que actuaran de manera egoista i no acceptaran peticions d'enllaç (nodes paràsits).

Abans de realitzar aquests estudis descrits caldrà realitzar una enumeració de tots els paràmetres factors que s'han tingut en compte alhora d'estudiar els diferents escenaris que es presentaran detalladament en els següents punts.

4.1 Definició de paràmetres de prestacions

A continuació es presentaran tots els factors i components del sistema que seran analitzats en els següents punts per tal de donar una primera aproximació al estudi.

- *Node transportable (tipus laptop i/o sensor)*: Està definit com un node que tant pot actuar de font com de destí, i també com a node enllaç. Aquests nodes estan caracteritzats per tenir una bateria (energia) limitada i un grau de generositat (ϵ) del qual depenen per acceptar paquets d'altres nodes, per reencaminar-los o no.
- *Node satèl·lit*: Al igual que els nodes tipus laptop, aquest node també està definit per actuar d'enllaç o de destí, però no com a font de la informació. Disposa d'una reserva d'energia il·limitada i la seva implicació en la xarxa a estudiar depèn d'un factor (p_s) que determina la probabilitat que té aquest node d'actuar en les transmissions d'informació que hi hagin al sistema.
- *Rendiment*: El rendiment de la xarxa equival al grau de funcionament òptim que presenta el sistema i ve condicionat per alguns paràmetres com el nombre de nodes (N) o el nombre de paquets a transmetre. Així doncs, expressem el rendiment de la següent manera:

$$\eta = n^{\text{º}} \text{paquets} \cdot (N + 1) \quad (17)$$

Com és d'esperar, el rendiment varia en funció de la topologia de la xarxa ja que no tindria sentit que el rendiment òptim fos el mateix per una xarxa amb 10 nodes i que transmetés 200 paquets, que per una xarxa amb 30 nodes i que transmetés 400 paquets. En el cas presentat en el punt 2.3, el rendiment (17) serà major ja que els nodes gastaran menys energia de les seves bateries.

- *Grau de generositat (GoG)*: Com ja hem vist anteriorment, aquest paràmetre fa referència a un nombre molt petit i positiu que ens indica lo generosos que seran els nodes alhora de reencaminar paquets pel benefici del rendiment total de la xarxa. Si aquest valor és negatiu, els nodes tan sols miren pel seu propi interès i el rendiment decau bruscament fins a assolir valors casi nuls.
- *Energia*: Aquest paràmetre determina la vida (en termes de bateria) dels nodes transportables. Està expressat assolint valors en l'interval de 0 fins a 0.1 (aproximadament). Òbviament, per valors nuls el sistema presenta un rendiment inefectiu.

- *Nombre de paquets:* Aquest valor fa referència al nombre de paquets que hauran de ser transmesos durant les comunicacions entre parells de nodes diferents realitzades dins de la mateixa xarxa. Per defecte en tots els escenaris, s'adoptarà el valor de 100 paquets.

4.2 Nodes transportables (laptops i/o sensors)

Com es pot comprovar a la Figura 7, el rendiment total del sistema es veu augmentat proporcionalment al nombre nodes fins que per un determinat valor de N el rendiment assoleix el punt màxim.

Podem veure que per un sistema amb, aproximadament, 15 nodes el rendiment que presenta la xarxa no arriba ni al 50% de la seva capacitat. En canvi, a partir de treballar amb uns 35 nodes el rendiment ja és manté molt bo fins assolir el punt màxim per tots els valors posteriors a 40 nodes.

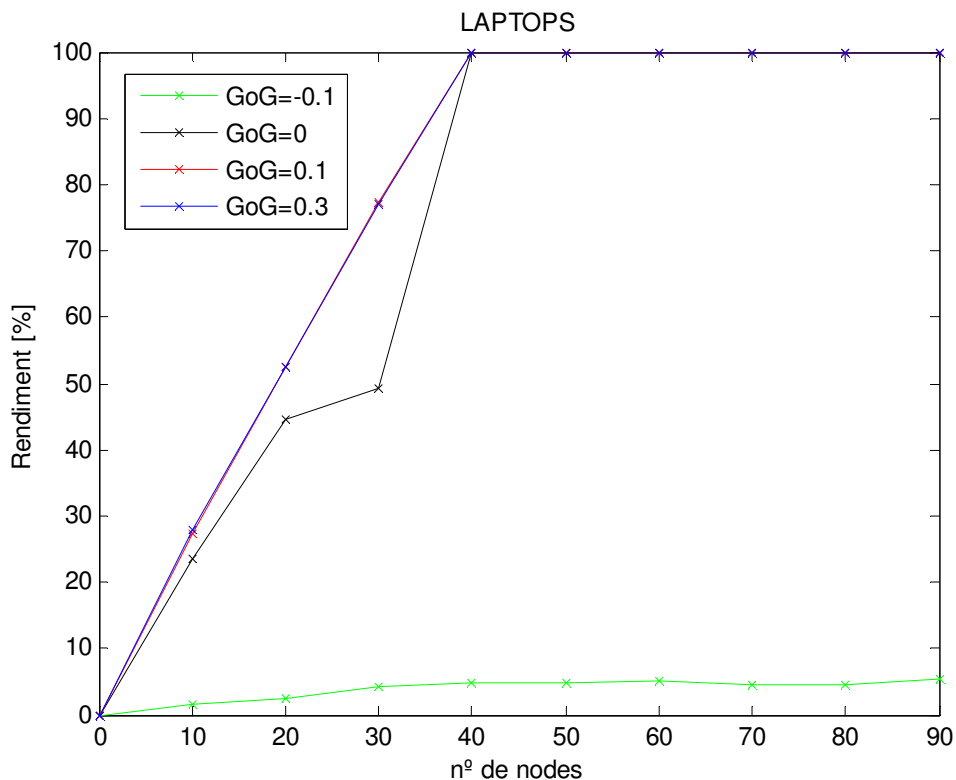


Figura 7. Rendiment del sistema en funció del nombre de nodes.

La simulació ha estat feta mitjançant quatre respostes diferents en funció del grau de generositat (GoG) que fa referència a la freqüència en la que els nodes accepten realitzar les peticions d'enllaç per reencaminar els paquets fins a la destinació que els hi siguin proposades.

Per valors de GoG negatius, els nodes són extremadament egoistes fent que el rendiment de la xarxa sigui quasi igual al 0%.

Per a valors del GoG ≥ 0 , els nodes són cada cop més generosos en acceptar peticions fins que s'assoleix un valor de GoG ≈ 0.3 a partir del qual, encara que augmentem aquest valor de GoG, ja no es pot augmentar més el rendiment total de la xarxa.

Com ja hem comentat anteriorment, per molt que variem el valor del grau de generositat, la xarxa sempre assolirà el punt òptim de funcionament a $N \approx 40$ nodes però la resposta en l'interval de $N=1$ fins $N=40$ serà millor com major sigui la generositat (menys per valors negatius que el rendiment decau totalment). Posteriorment farem el mateix estudi pel cas de afegir un node satèl·lit per veure si també es comporta igual el sistema.

A continuació estudiarem el efecte que comporta en el rendiment del sistema els diferents valors que pot prendre la variable de limitació de energia (E_t). A la Figura 8 podem veure la simulació, realitzada també per diferents valors de generositats (GoG).

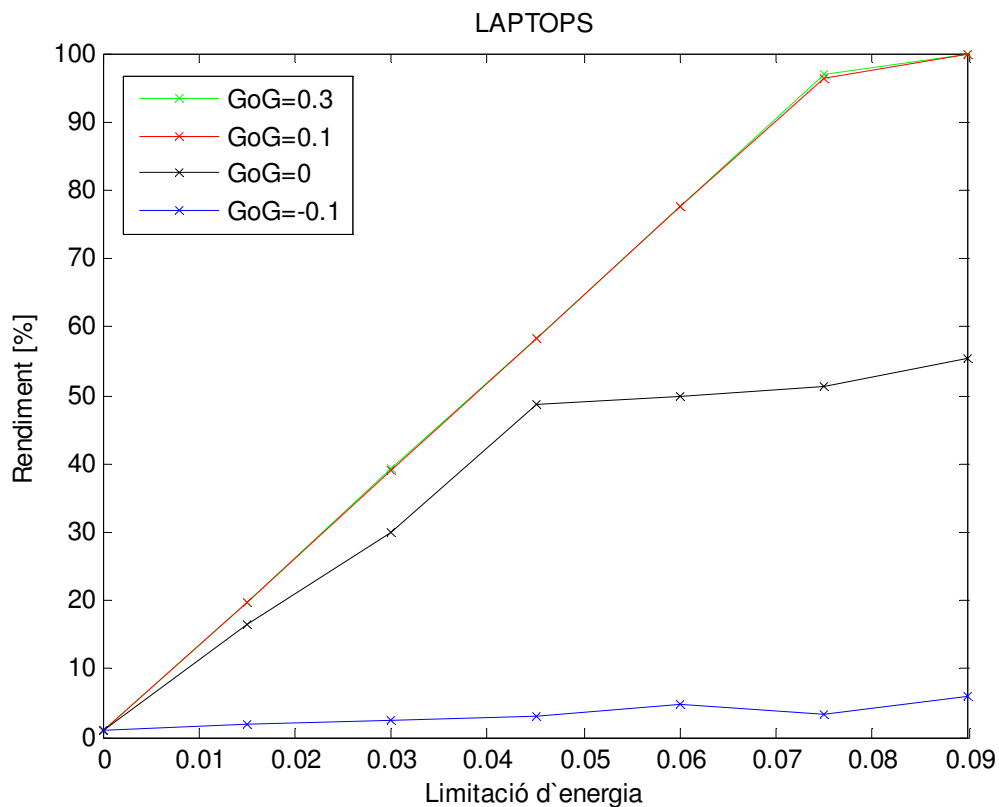


Figura 8. Rendiment en funció de la limitació d'energia dels nodes.

Ara veiem que, com abans, el rendiment augmenta com major sigui la limitació d'energia que presenten cada un dels nodes (es considera que tots presenten la mateixa).

Així doncs, podem comprovar que per a valors de GoG negatius el rendiment torna a ser equivalent al 0% ja que els nodes actuen molt egoistament i no beneficien a la xarxa en conjunt. Per els altres valors de GoG simulats, veiem com al tenir una $E_i \approx 0.07$ el rendiment ja assoleix, pràcticament, el seu punt màxim.

Per tant, es pot afirmar que el valor de N i E_i seran determinants alhora d'aconseguir un bon rendiment en una xarxa mòbil ad hoc. També veiem com per GoG=0, el rendiment es satura al 50% i, ni augmentant el valor de E_i , aconseguim una millora significativa.

En les simulacions posteriors, es triarà N=25 i $E_i=0.05$ com a valors per defecte per realitzar estudis d'altres paràmetres del sistema.

4.3 Inserció d'un node satèl·lit a la xarxa

En aquest cas, al igual que abans, estudiarem el efecte del nombre de nodes (N) i de la limitació d'energia (E_i) sobre el rendiment total de la xarxa. Ara, però, ens apareix el paràmetre p_s que, com ja s'ha comentat anteriorment, fa referència a la probabilitat de tràfic extern, és a dir, que el node satèl·lit introduït sigui escollit com a participant en l'enllaç. Fixarem $p_s = 35\%$ i els valors de E_i i N predeterminats.

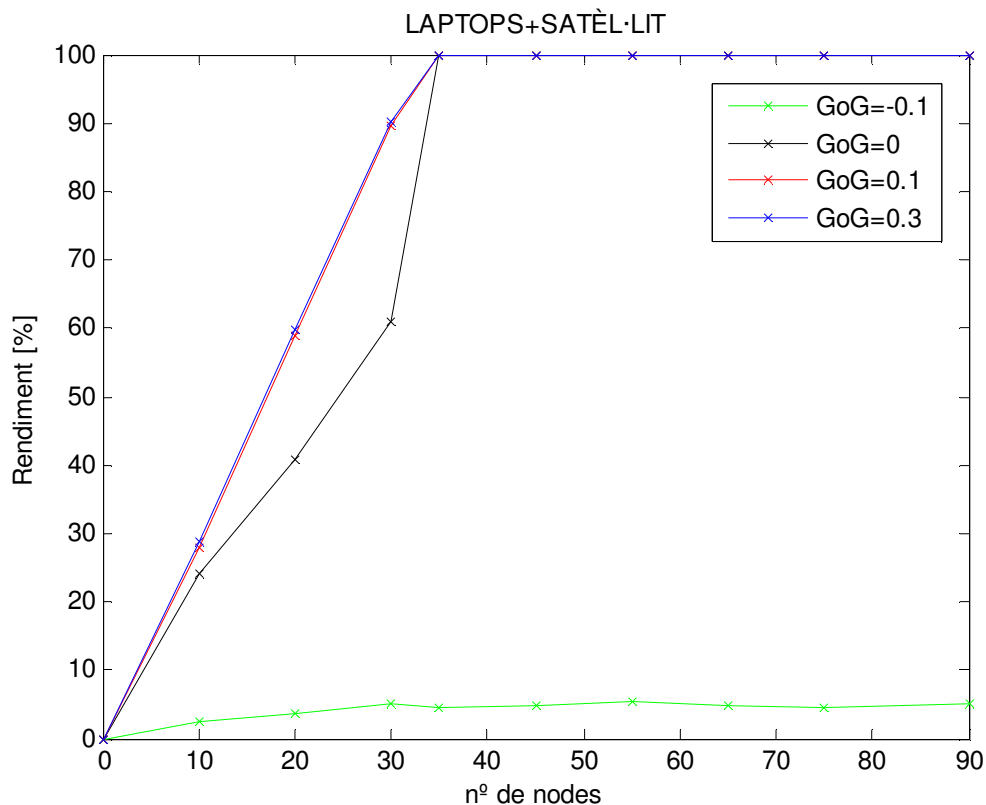


Figura 9. Rendiment del sistema en funció del nombre de nodes.

Ara, al tenir un node satèl·lit sense restricció d'energia, podem veure (Figura 9) com el rendiment total de la xarxa ad hoc assolix més ràpidament el punt de rendiment màxim (sobre $N \approx 30$). Per tant, el sistema guanya en velocitat de resposta ja que per a valors de N entre 1 i 30 els valors del rendiment són notòriament majors que en el cas anterior. Més endavant estudiarem l'increment de rendiment que suposa afegir un node satèl·lit a la topologia de la xarxa.

D'altra banda, comprovem com per diferents simulacions corresponents a diferents valors de GoG el rendiment és diferent. Seguint la línia anterior, per valors de GoG negatius el rendiment és nul i per valors a partir de $GoG=0.1 \sim 0.3$ el rendiment ja no varia.

Resumint, podríem dir que a major nombre de nodes i major generositat el rendiment del sistema és veu millorat notablement fins arribar a un punt en que tot i que s'augmentin N i GoG, el rendiment arriba al seu punt òptim de funcionament (màxim).

En aquest segon estudi, veurem (Figura 10) com es manté el efecte anterior: el sistema presenta una resposta més ràpida assolint, així, més aviat el punt de rendiment màxim que s'aconsegueix a partir de $E_i \approx 0.06$.

Ara, però, pel cas $GoG=0$ el rendiment assoleix el punt òptim mentre que en la simulació del punt anterior no passava pràcticament del 50%.

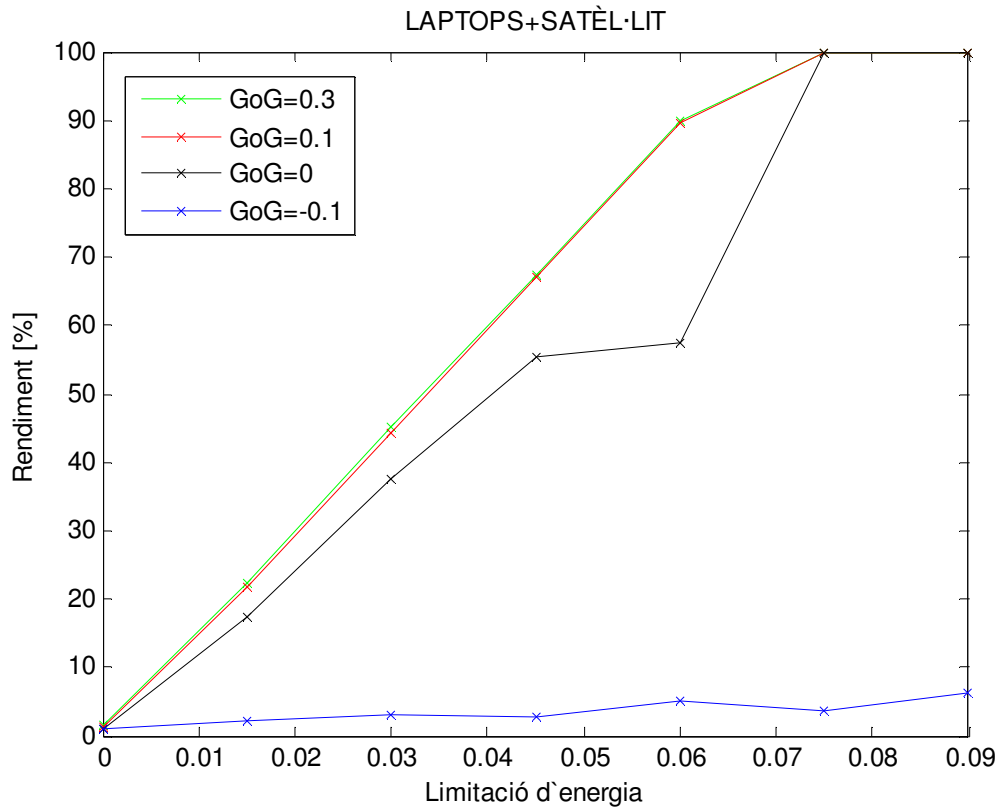


Figura 10. Rendiment en funció de la limitació d'energia.

Podem dir que afegint un node satèl·lit (amb energia il·limitada) el rendiment del sistema millora notablement i assoleix el valor de rendiment òptim abans. Per exemple, en el cas de tenir una xarxa de nodes transportables, per $N=40$ aconseguiríem el rendiment $\approx 100\%$. En canvi, en el cas de tenir nodes laptop més 1 node satèl·lit, per $N=30$ aconseguiríem el mateix valor òptim anterior (molt pròxim al 100%).

Finalment, el compromís existent entre el rendiment de la xarxa i la limitació d'energia que presenten els nodes laptop l'hem pogut veure reflectit en les simulacions del rendiment en funció de l'energia presentades anteriorment (Figures 8 i 10).

Interessarà trobar un punt en que el sistema presenti un rendiment prou acceptable sense la necessitat de que els nodes utilitzin una gran quantitat d'energia, que vindrà limitada per la seva pròpia bateria.

4.4 Estudi del efecte de P_s al sistema

En aquest cas, estudiarem l'efecte de la probabilitat de tràfic extern (p_s) en el rendiment de la xarxa. Per fer-ho, hem triat 3 valors intermedis entre el 0% i el 100% per poder realitzar les corresponents simulacions tal com es pot veure en la Figura 11.

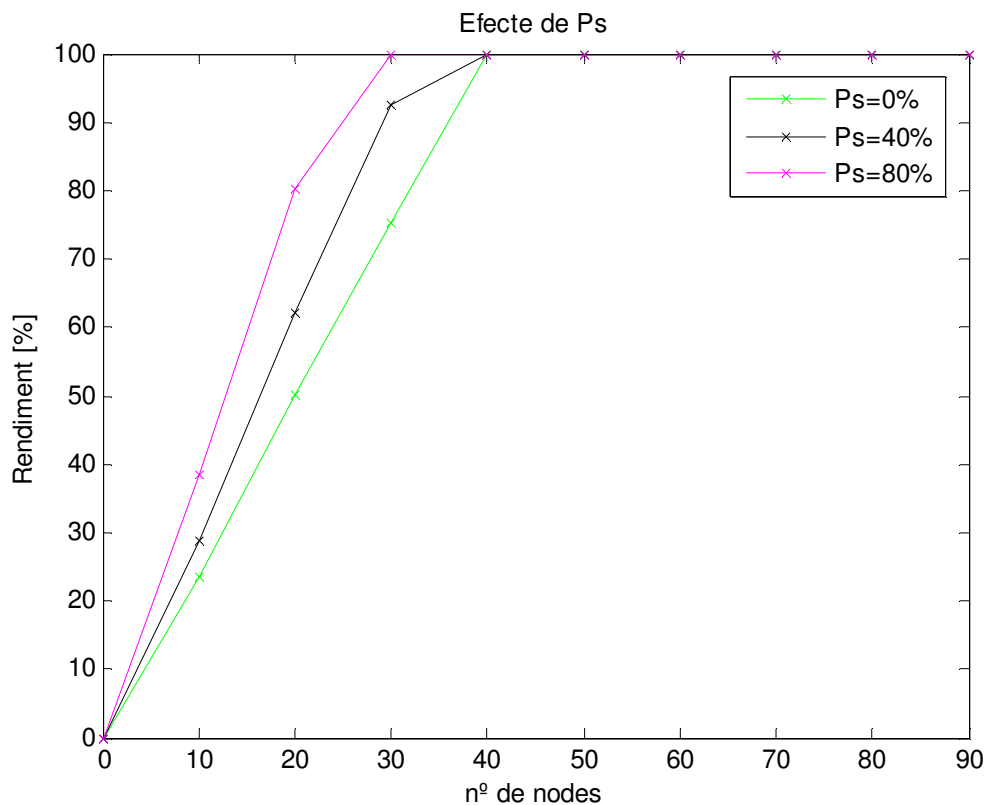


Figura 11. Influència de P_s en la variació del rendiment.

Podem observar com el cas de tenir $p_s=0\%$ és equivalent al estudi del sistema per N nodes transportables (laptops i/o sensors) i cap node satèl·lit. El nombre de nodes necessaris perquè el rendiment arribi al seu punt màxim és 40 (com hem vist anteriorment).

A partir d'aquí, es pot comprovar com per $p_s=40\%$, tot i que el rendiment arribi al punt òptim, al tenir 40 nodes, el pendent de la recta és més pronunciat i, conseqüentment, el rendiment assoleix valors més elevats comparant amb el cas anterior.

Per exemple, prenent $N=25$ i comparant el cas $p_s=0\%$ i el cas $p_s=40\%$ podem veure que hi ha una diferència d'un 20% del rendiment (de manera aproximada).

Si ara prenem com a referència $N=30$ nodes, podem veure que la diferència entre el cas de no tenir nodes laptop i el cas de tenir-ne un amb $p_s=80\%$ és veu reflectida en un increment d'un 35% del rendiment total del sistema.

Per tant, aquesta simulació ens dóna una primera aproximació de la importància de l' inserció d'un node satèl·lit amb les característiques ja comentades i, consegüentment, de l' importància del valor de p_s .

Mitjançant la Figura 12, podem comprovar el efecte anterior d'una manera més senzilla. Es tracta d'avaluar el valor de N pel qual la xarxa assoleix el punt òptim, per tots els valors de p_s possibles.

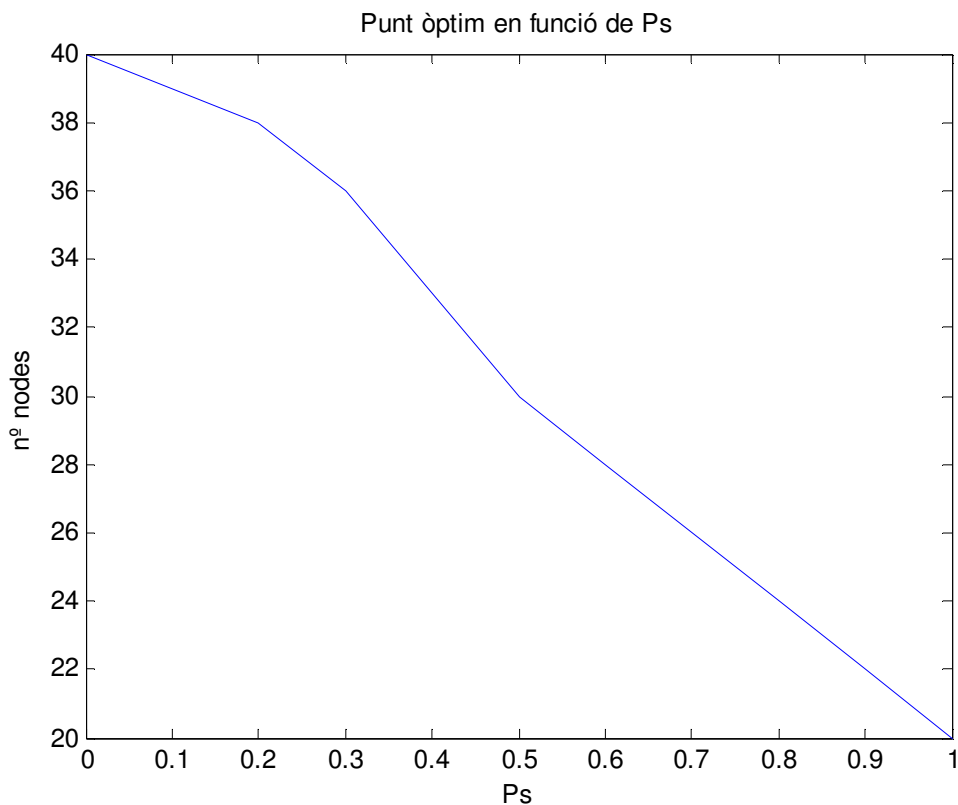


Figura 12. Nombre de nodes en que assolim el punt òptim en funció de P_s .

Veiem que quan no hi ha un node satèl·lit (N nodes transportables) el punt òptim de funcionament del sistema (rendiment màxim) s'aconsegueix per $N=40$ nodes i, a mesura que augmentem la probabilitat de tràfic extern, cada cop són necessaris menys nodes per assolir el rendiment desitjat.

Qualitativament, podríem dir que per cada 10% que incrementem p_s necessitem 2 nodes menys per treballar en el punt de rendiment màxim. Llavors, la diferència respecte el pitjor i el millor cas és un increment del 50%.

Per tant, alhora d'avaluar el sistema caldrà tenir en compte el valor de P_s ja que com hem estudiat, pot tenir molta influència en la resposta del sistema i ens pot estalviar el ús de més recursos com els nodes amb la seva corresponent energia limitada.

Finalment, valorant els millors casos ($p_s \geq 80\%$), podem veure com no tan sols s'assoleixen rendiments notablement més elevats, sinó que el punt òptim del rendiment apareix, ara, en $N=30$.

Els resultats obtinguts són molt significatius, donat que el valor de P_s ens indica la freqüència en que el node satèl·lit haurà d'actuar d'enllaç entre un node origen i un node destí o, fins i tot, actuar com un d'aquests nodes de destí.

Mitjançant la Taula 1, podem veure d'una manera més clara la simulació representada en la Figura 12. Com més alta és la probabilitat de que el satèl·lit actuï en una connexió, menys nodes ens seran necessaris per formar una xarxa ad hoc que funcioni a ple rendiment (donada la no restricció d'energia d'aquest node).

Podem veure com, pràcticament, un increment del 10% en el valor de P_s implica la reducció de dos nodes respecte el total necessari per assolir un rendiment òptim del 100%.

Valor de P_s	Punt òptim de funcionament (en nº de nodes)
0%	40
10%	39
20%	38
30%	36
40%	33
50%	30
60%	28
70%	26
80%	24
90%	22
100%	20

Taula 1. Estudi del punt òptim del sistema en funció del valor de P_s .

Per tant, com més alt és el valor de P_s més notable és la millora en el rendiment del sistema i, d'aquesta manera, es necessitaran menys nodes per aconseguir un funcionament òptim.

D'altra banda si el que ens interessa és enviar més tràfic a través de la xarxa, el fet d'afegir un node satèl·lit fa possible que puguem tenir més nodes que el mínim nombre necessari per treballar al punt òptim i, així, fer que la xarxa segueixi funcionant igual. D'aquesta manera, al tenir més nodes, es podran reenviar més paquets entre ells (major tràfic a la xarxa).

Ara el que tractarem serà el efecte del grau de generositat (GoG) sobre el rendiment i per diferents nombres de nodes.

Compararem el estudi pel cas d'un sistema amb N nodes (laptops i/o sensors) amb el mateix cas però amb un node satèl·lit per tal de seguir veient el efecte d'aquest. Per a dur a terme les simulacions hem utilitzat el valor de E_t i P_s predeterminats.

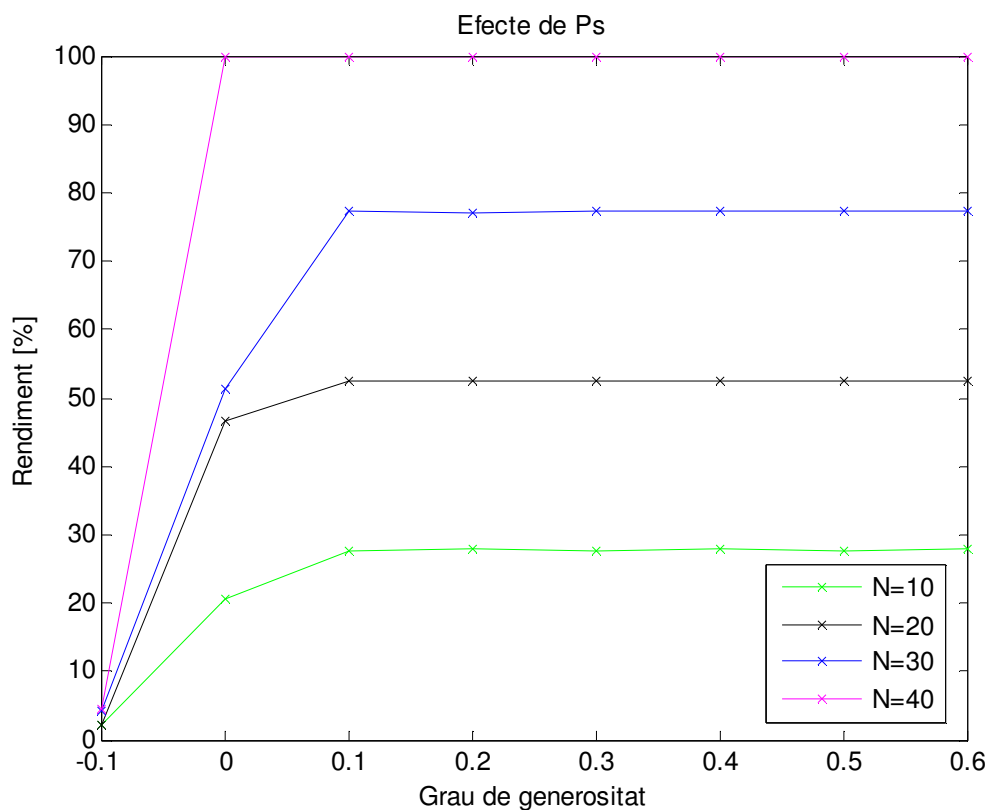


Figura 13. Cas nodes transportables.

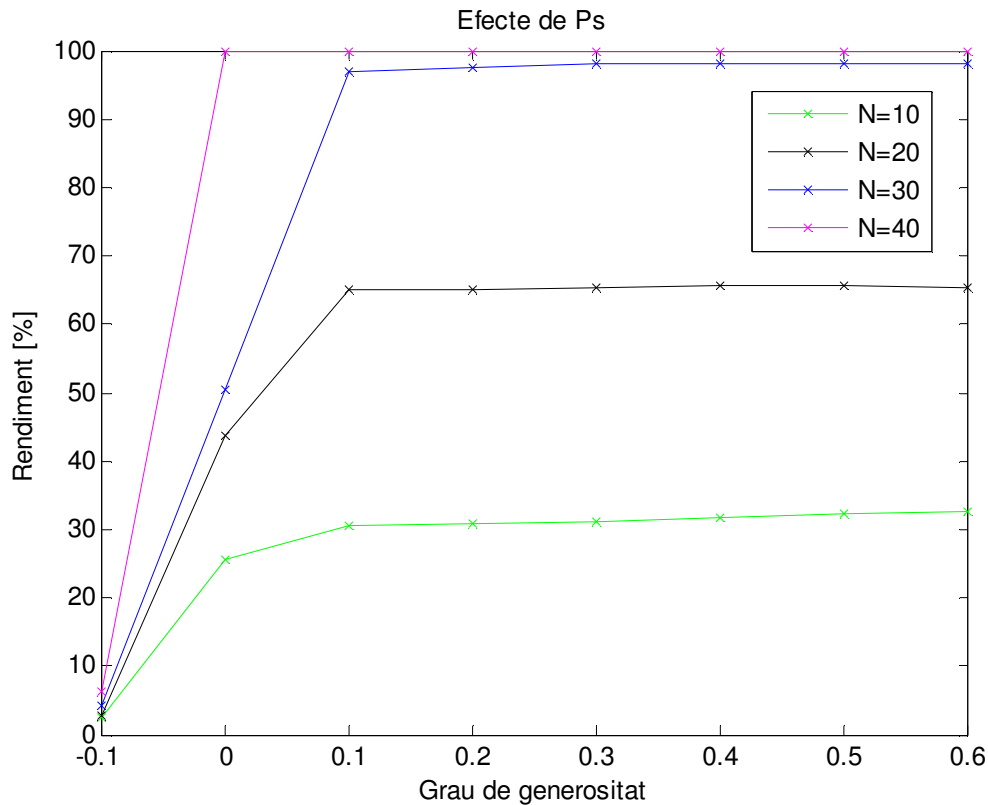


Figura 14. Cas d'inserció d'un node satèl·lit.

Analitzant les Figures 13 i 14, es pot comprovar com arriba a afectar el valor de GoG a la dinàmica del sistema. Veiem que per valors de GoG negatius el rendiment és insignificant i, a mesura que n'augmentem el seu valor, el rendiment comença a créixer fins a assolir el punt màxim (per uns valors concrets de N i GoG).

També podem tornar a comprovar com els valors de GoG que afecten al sistema no tenen gaire marge entre ells, es a dir, durant l'interval $-0.1 \leq \text{GoG} \leq 0.3$ és quan varia el sistema, ja que el límit de generositat màxim es dona pel valor de $\text{GoG}=0.3$.

En els dos casos podem veure com el rendiment màxim tan sols s'assoleix amb $N=40$ nodes, però la diferència entre els dos casos pels valors $N=10$, 20 i 30 simulats és notable.

Per exemple, pel cas $N=30$ i tenint un node satèl·lit, el rendiment és molt proper al 100%; en canvi, seguint el mateix cas però sense tenir el node satèl·lit, el rendiment no arriba ni al 80%. El mateix passa en els altres dos casos ($N=10$ i $N=20$) tot i que la diferència no sigui tan gran.

A continuació, en la Figura 15 estudiarem el mateix escenari anterior però amb una única variant que serà la de fixar el valor de GoG i avaluar per diferents valors de p_s com varia el rendiment. També realitzarem varies simulacions per quatre valors diferents de N.

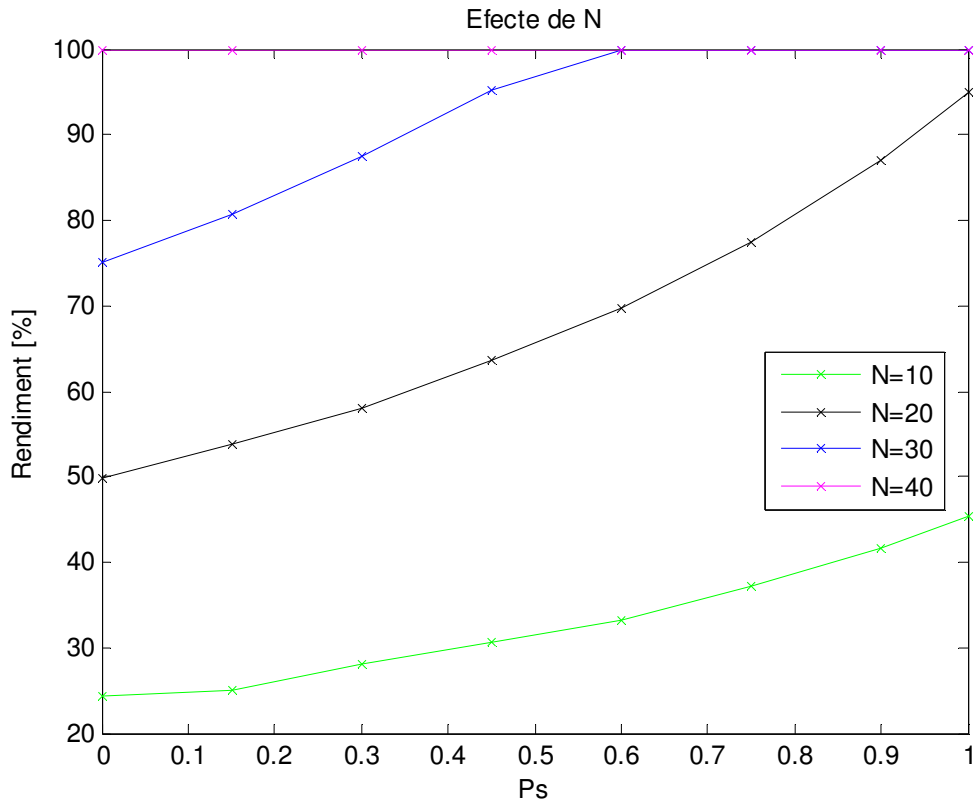


Figura 15. Efecte de P_s sobre el rendiment per diferents nombres de nodes.

Mitjançant aquesta simulació comprovem com pel cas de tenir 40 nodes el rendiment es manté màxim, indiferentment del valor de p_s . Com hem vist fins ara, pel pitjor cas (només nodes tipus transportable) el sistema assoleix al valor òptim de rendiment a partir de tenir una xarxa formada per 40 nodes. Llavors és normal que, sigui quin sigui el valor de p_s , per $N \geq 40$ nodes sempre tenim un rendiment màxim.

Per la resta de valors de N simulats, comprovem com, partint d'un rendiment relativament baix (o acceptable) i a mesura que augmentem el valor de la probabilitat p_s , el rendiment total del sistema es veu millorat fins al punt òptim (N=20 i N=30) o sense arribar a aquest valor però millorant molt el rendiment inicial (N=10).

Ara, es tracta de realitzar el mateix estudi però avaluant el efecte per diferents valors del grau de generositat. Utilitzarem els valors predeterminats de E_i i N per realitzar les 5 simulacions mostrades a la Figura 15.

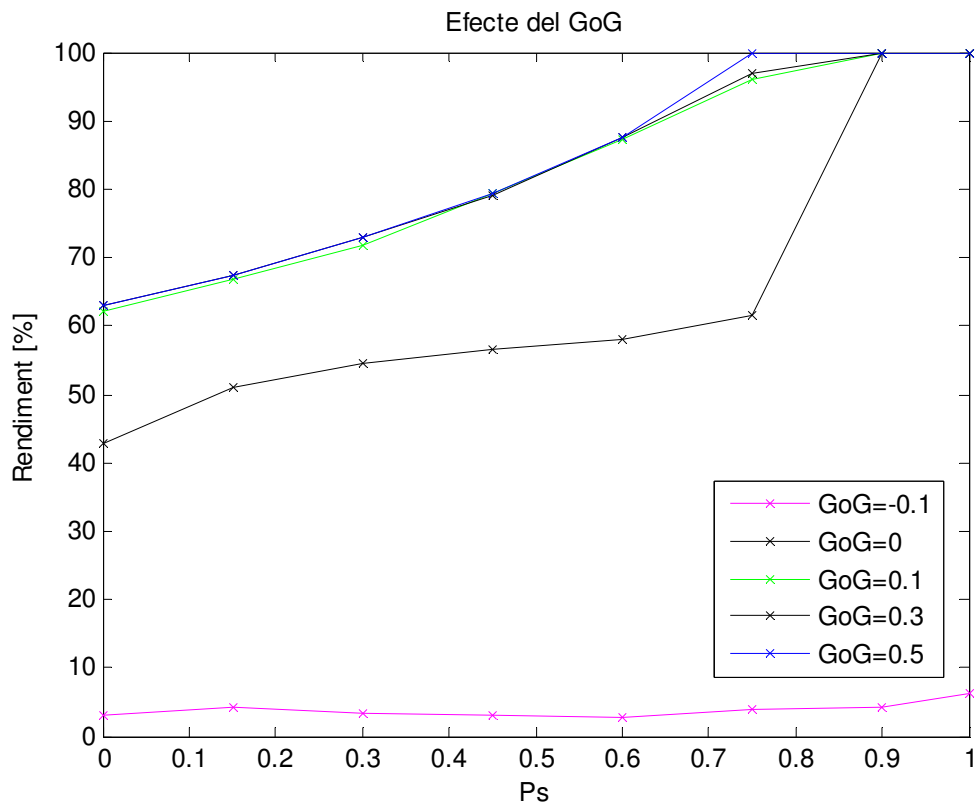


Figura 16. Influència del grau de generositat al estudiar l'evolució del rendiment per tots els possibles valors de Ps.

Podem comprovar com el grau de generositat de la xarxa té un rang d'influència molt petit ja que de -0.1 a 0.1 és quan dona gairebé tota la variació entre el rendiment màxim i el mínim, és a dir, que per valors de $\text{GoG} \geq 0.1$ el comportament del sistema serà molt igual. Comparant la corba per $\text{GoG}=0.5$ i la corba per $\text{GoG}=0.1$ podem veure clarament aquest fet ja que la variació és mínima.

També podem veure com el fet de treballar amb valors negatius de generositat fa que la xarxa es mantingui molt inestable, presentant així, rendiments insignificants o nuls (Figura 16).

Un cop hem estudiat l'efecte d'afegir un node satèl·lit, ja podem estudiar com influeix realment (en el rendiment) aquest node i quins beneficis n'obtenim comparant-lo amb el cas de tenir, únicament, nodes transportables (laptops i/o sensors). A la Figura 17, es representa aquest estudi per tres valors diferents de generositat.

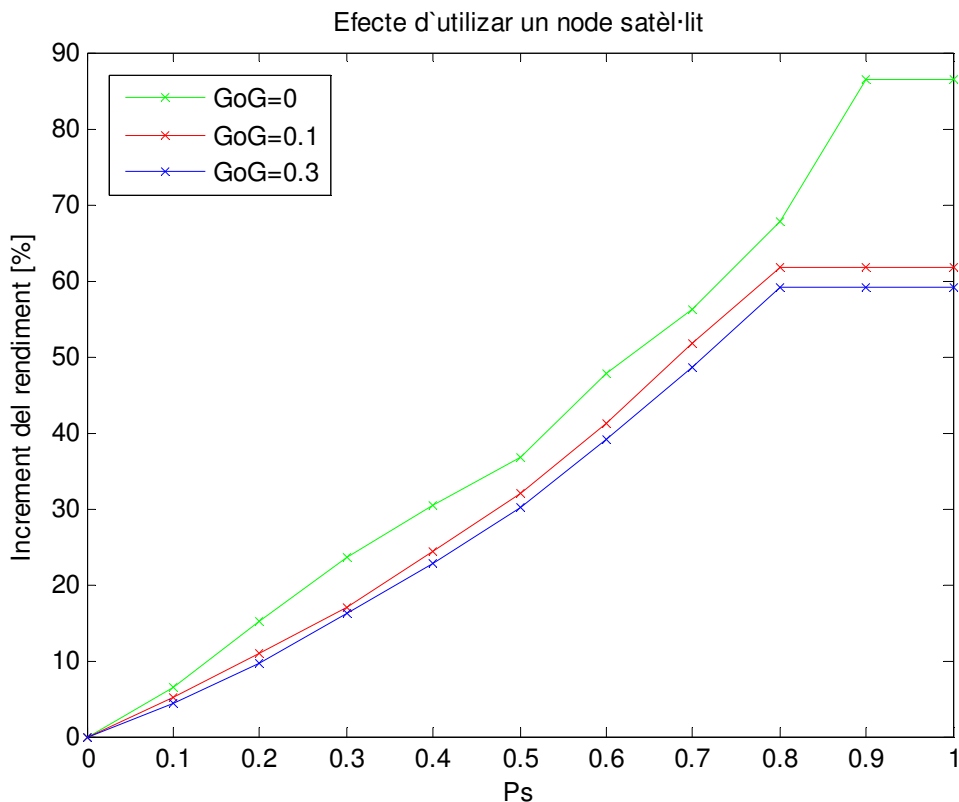


Figura 17. Millora del rendiment en funció de P_s i per diferents valors de GoG.

Podem comprovar com, a diferència dels casos anteriors, ara quan menor és el valor de GoG major és l'increment del rendiment respecte el cas sense node satèl·lit.

Aquest fet és degut a que per valors de generositat baixos (≈ 0) el rendiment per $p_s=0\%$ està lluny del valor òptim, per tant per $p_s=100\%$ (i per els 3 valors de GoG simulats) sempre assolim el rendiment màxim.

Llavors, la diferència entre $p_s=0\%$ (només nodes laptop) i $p_s=100\%$ serà major quan menor (no negatiu) sigui el valor de GoG ja que implica tenir un rendiment baix i, per tant, l'increment entre el valor inicial i el final, que és el mateix per tots els casos, serà més gran.

4.5 Nodes paràsits

Finalment, analitzarem l'efecte que comporta l'existència de nodes maliciosos (paràsits) en una xarxa ad hoc. Aquest nodes es basen en el "efecte egoista", es a dir, tan sols es preocupen pel seu propi benefici sense ajudar al total de la xarxa. Llavors, quan aquests nodes reben peticions per actuar de router reenviant paquets cap un node destí, les rebutgen per així no malgastar l'energia de la seva bateria i poder tenir més autonomia.

Suposarem, doncs, una xarxa formada per 25 nodes (laptops i/o sensors) en la qual variarem el nombre de nodes paràsits per estudiar com afecten al rendiment del sistema. També realitzarem tres simulacions en funció del valor de P_s , per veure la diferència tal com es pot observar en la Figura 18.

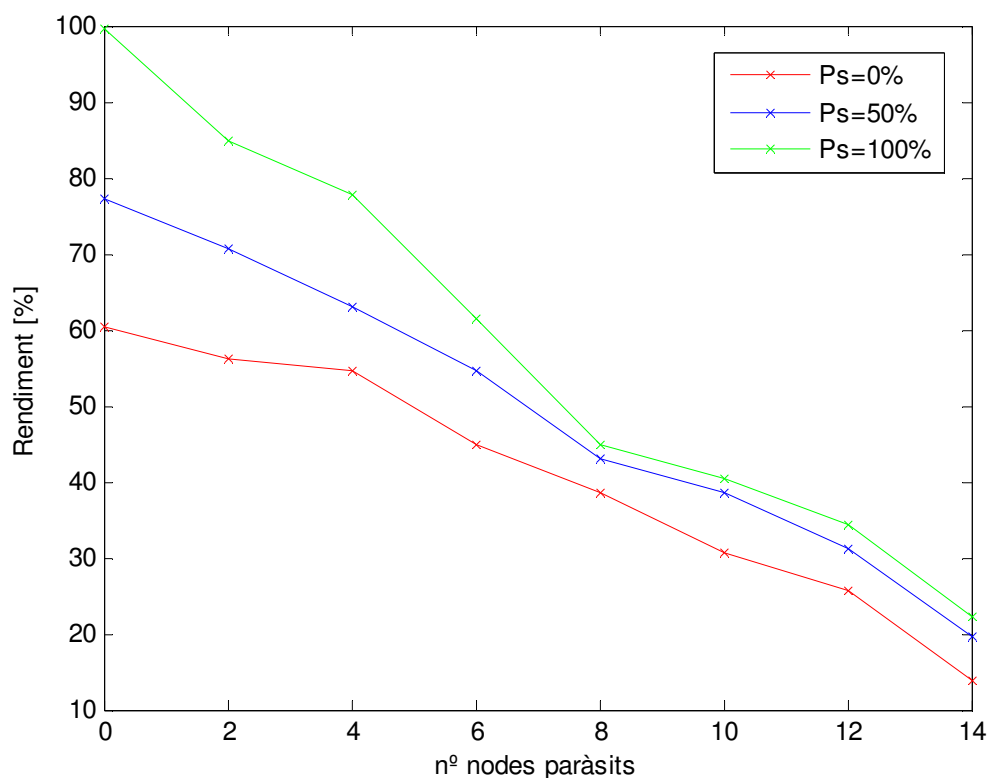


Figura 18. Estudi del efecte de nodes paràsits a la xarxa.

Podem comprovar com, a mesura que augmentem el nombre de nodes paràsits existents a la xarxa, el rendiment va decaient de forma continuada. Veiem com, a partir d'una quantitat de nodes maliciosos superior al 50% del total de nodes que

conformen la xarxa, el rendiment assoleix valors que són molt pobres per poder mantenir un bon funcionament en una xarxa mòbil ad hoc.

D'altra banda, aquest efecte es pot arribar a mitigar una mica si mantenim un valor alt de p_s . Llavors per pocs nodes paràsits es manté un rendiment acceptable però, quan superem aquest nombre de nodes en més del 50% del total, en els tres casos el rendiment és molt escàs.

5 La cobertura en xarxes ad hoc cooperatives

En aquest apartat realitzarem un estudi preliminar de la cobertura en xarxes ad hoc. Avaluarem la potència a transmetre necessària per poder enllaçar dos nodes separats una certa distància, o donada una certa distància en calcularem la potència mínima necessària per poder arribar al node destí. Totes aquestes condicions a avaluar, estaran condicionades al model de propagació Log-distance utilitzat i pel valor de n que dependrà del medi de propagació específic (tipus d'entorn) entre altres.

5.1 Modulació digital M-PSK

Per la transmissió de dades entre nodes s'utilitzarà la modulació digital Phase Shift Keying (M-PSK), i ve definida matemàticament per l'equació 18:

$$v(t) = \cos\left[w_0 t + \frac{X_m(t) \cdot \Delta\varphi}{2}\right] \quad (18)$$

On,

$\Delta\varphi$ val $2\pi/m$ i $X_m(t)$ és la senyal moduladora, NRZ multi-nivell (m-aria).

Podem nombrar els principals avantatges de les modulacions digitals de la següent manera:

- Menys sensibles a les interferències.
- Permet un major control d'errors.
- Major eficiència espectral que els sistemes analògics.
- Encriptació de dades.

La modulació PSK és la més utilitzada en tècniques de transmissió digital, ja que presenta els avantatges de la seva amplitud constant, la seva poca vulnerabilitat a les variacions de nivell y la seva bona bit error rate (BER).

És una modulació emprada en aplicacions de satèl·lit, mòdems, TETRA, etc. Existeixen variacions del M-PSK (2-PSK, 4-PSK, 8-PSK, 16-PSK); cada una d'elles augmenta la velocitat de transmissió (bps) del sistema en un factor proporcional a M .

La portadora f_c , pot ser modulada per una seqüència digital (BB) mitjançant:

- 2 fases, 0 i π , per representar els "0" y "1" lògics. Aquesta modulació es denomina, simplement 2-PSK, o BPSK.
- 4 fases, ($\pi/4$, $3\pi/4$, $5\pi/4$ y $7\pi/4$) per representar les combinacions: "00", "01", "10" i "11". Aquesta modulació es denomina 4-PSK o QPSK (Figura 19).
- En general, m fases per representar $2^m = M$ combinacions de n bits.

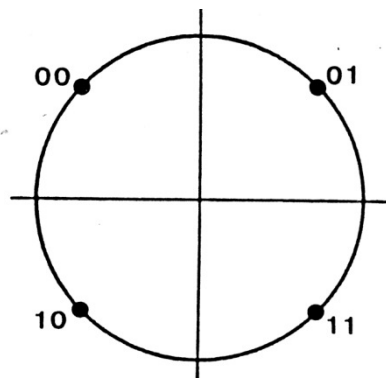


Figura 19. Diagrama de fase d'una modulació 4-PSK. [10]

De la expressió trigonomètrica:

$$\cos(w_c t + \varphi) = \cos \varphi \cos(w_c t) - \sin \varphi \sin(w_c t) \quad (19)$$

La qual descriu (19), simplificadament, un sistema de modulació PSK, podem veure que és possible representar la senyal $\cos(w_c t + \varphi)$ com una combinació lineal de $\cos(w_c t)$ i $\sin(w_c t)$ en cada interval que representi un "1" o un "0".

On, $\cos \varphi$ i $\sin \varphi$ són constants al no variar la fase. Donat que les funcions $\cos \varphi$ i $\sin \varphi$ estan desfasades 90° una de l'altre, són ortogonals vistes en un diagrama de fasors. D'aquí que la seva representació es denomini "en fase i en quadratura".

Normalment, la senyal cosinus s'agafa com senyal "en fase" (senyal I) i la senyal sinus com senyal "desfasada" o "en quadratura" (senyal Q). La representació en fase i quadratura és fonamental en la descripció de conceptes i instrumentacions de la modulació PSK.

El principal avantatge de les modulacions PSK és que la potència de tots els símbols és la mateixa, per lo que se simplifica el disseny dels amplificadors i etapes receptores (reduint, així, costos), donat que la potència de la font és constant.

Existeixen dues alternatives de modulació PSK: PSK convencional, on es tenen en compte els desplaçaments de fase i PSK diferencial, en la qual es consideren les transicions.

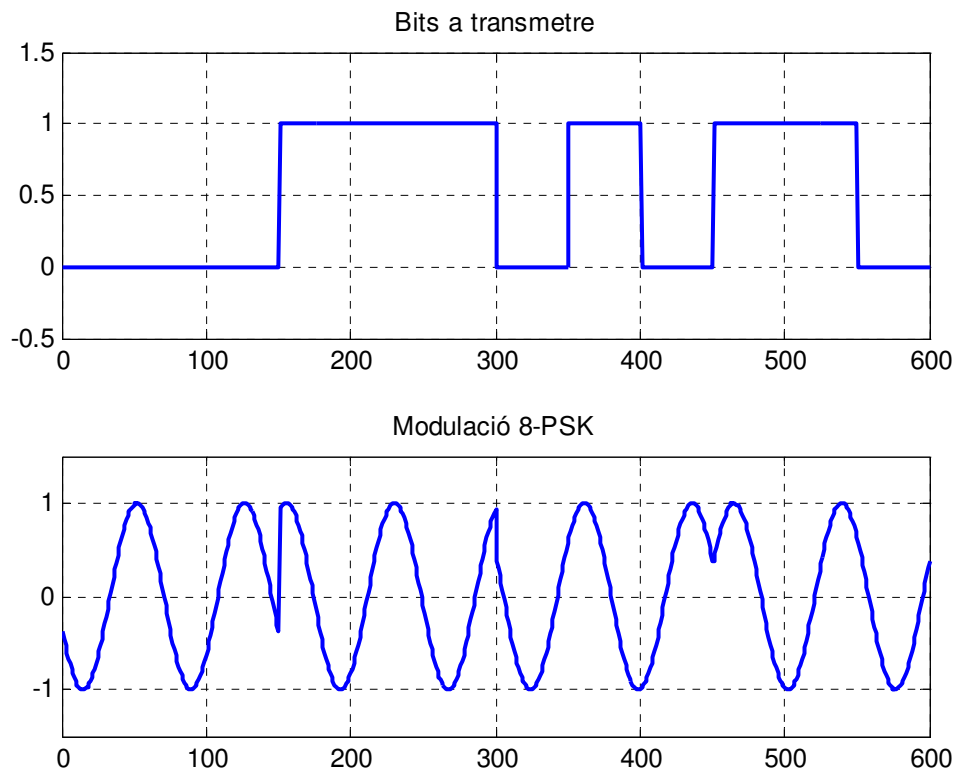


Figura 20. Exemple funcionament modulació 8-PSK.

En el nostre cas utilitzarem diferents tipus de modulació PSK convencional (BPSK, QPSK, 8PSK (Figura 20), etc) on l' increment d'energia al transmetre o reenviar dades entre nodes equivaldrà al increment del nombre de bits d'aquestes dades. Així doncs, mitjançant les relacions energia - potència i temps de bit- velocitat de Tx donades per les següents equacions (20):

$$T_{bit} = \frac{1}{V_{Tx}}$$

$$P_T = \frac{E}{T_{bit}} \quad (20)$$

On,

V_{Tx} és la velocitat de transmissió de dades expressada en bps, que serà diferent depenent del tipus de modulació utilitzada.

L'energia (E) és el paràmetre definit en el punt anterior i tots els nodes transportables tenen el mateix valor inicial del qual se'ls anirà consumint energia en funció de les transmissions realitzades i el nombre de bits (n) enviats a cada transmissió.

Pel que fa la potència (P_T), ens serà útil per, donada una certa potència de senyal rebuda, cercar el valor de la distància màxima entre dos nodes mitjançant el model de propagació Log-distance ja esmentat.

Per tant, les reserves d'energia a les bateries dels nodes tipus laptops seran determinants per permetre una comunicació entre dos nodes separats una distància d. Ja que, depenent de l'energia que quedi a la bateria d'un node, aquest podrà transmetre amb una potència Tx major o menor i, consegüentment, a una distància major o menor en funció d'aquest valor de potència de senyal transmesa.

5.2 Efecte del model de propagació

A continuació, realitzarem un primer estudi del model de propagació proposat per poder veure com modela les pèrdues en funció dels diferents paràmetres que componen el model.

Per a realitzar les diferents simulacions, s'ha utilitzat el model de propagació que considera l'atenuació per distància (Log-distance) definit anteriorment i en el qual es pot expressar la distància segons l'equació 21:

$$d = 10^{\frac{P_T - P_R}{n}} \quad (21)$$

On tots els valors de potència estan expressat en dBm i la distància en metres.

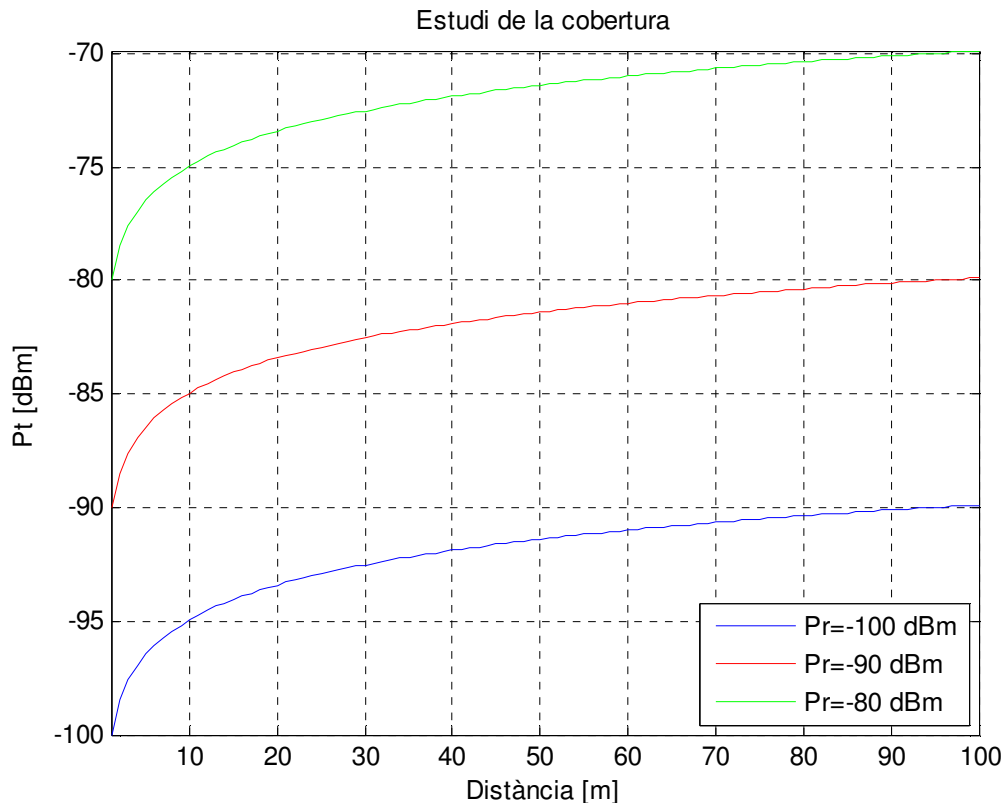


Figura 21. Estudi de la cobertura i la potència a transmetre per diferents distàncies i valors de potència rebuda.

A la Figura 21 podem veure l'evolució dels valors de potència de senyal Tx en funció de la distància i tres valors diferents de potència Rx.

Podem comprovar com per variacions de la distància del ordre de 10-15 metres, la potència transmesa augmenta uns 7 dBm mentre que, per la resta de valors de distància, l'augment no és tant pronunciat.

Indiferentment del valor de P_R , totes les simulacions presenten la mateixa resposta proporcional. És a dir, per distàncies de 10 metres entre emissor i receptor, la diferència entre potència Tx i potència Rx és d'uns 5 dBm per tots els casos.

Building	Frecuency (MHz)	n	sig (dB)
Retail stores	914	2.2	8.7
Grocery stores	914	1.8	5.2
Office, hard partition	1500	3	7
Office, soft partition	900	2.4	9.6
Office, soft partition	1900	2.6	14.1
Factory LOS			
Textile/Chemical	1300	2	3
Textile/Chemical	4000	2.1	7
Papers/Cereals	1300	1.8	6
Metalworking	1300	1.6	5.8
Suburban Home			
Indoor Street	900	3	7
Factory OBS			
Textile/Chemical	400	2.1	9.7
Metalworking	1300	3.3	6.8

Figura 22. Valors típics per diferents tipus d'edificis, on sig (dB) equival a les pèrdues.[5]

Un altre factor important alhora de modelar les pèrdues de propagació per distància és l'entorn (o edificació) en el qual realitzem la comunicació. Aquesta variació entre medis ve determinada pel valor de n , tal com es mostra en la Figura 22.

Aquest valor és diferent en funció de si ens trobem en un tipus d'edifici determinat, en una zona suburbana, un entorn amb vegetació, etc. Per exemple, la diferència per situacions en una fàbrica de metal·lúrgia o en una tèxtil (o química) és 1.2 (en valors de n).

Aquesta diferència ve determinada també, en funció de si es tracta d'una fàbrica amb visió directa (amb pocs obstacles, LOS) o amb visió obstruïda (amb moltes parets i obstacles, OBS).

En la següent simulació (Figura 23), es realitza el mateix estudi anterior però fixant un valor estàndard de P_R i variant els diferents valors de n comentats en aquest punt. En aquest cas, els valors de distàncies simulats són més grans per poder apreciar més el efecte en el valor de P_T .

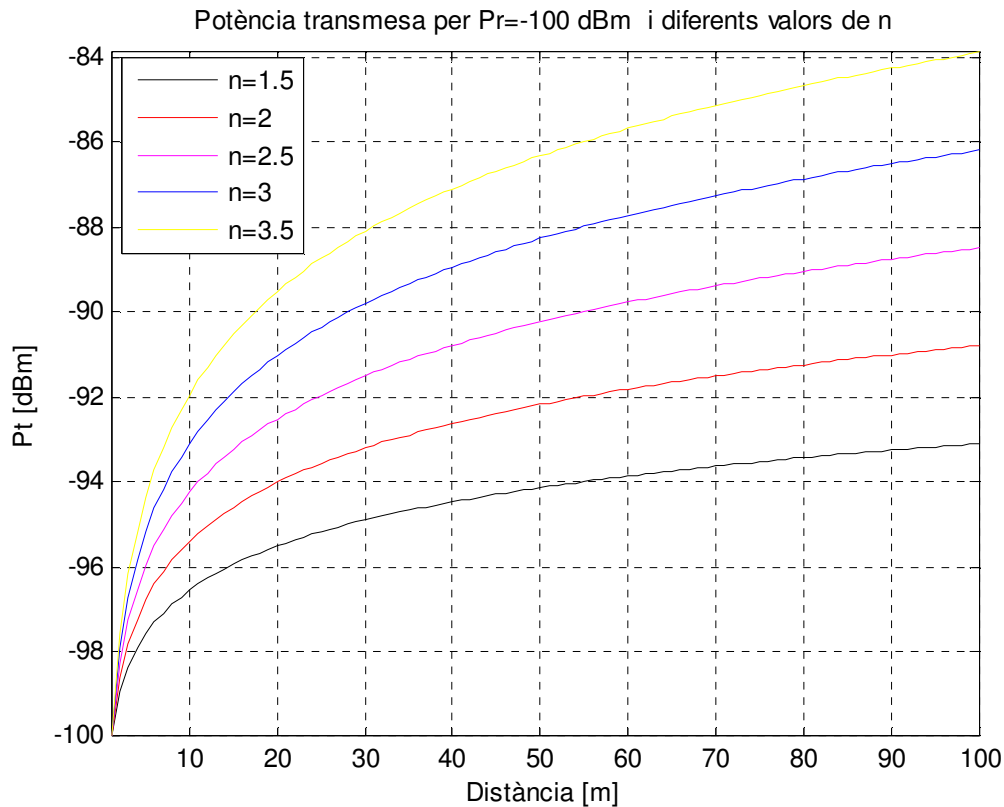


Figura 23. Potència Tx necessària en funció de n i la distància.

Podem comprovar com, quan més gran és el valor de n que modela l'entorn, la potència a transmetre necessària haurà de ser major respecte altres valors de n més petits. Llavors, depenent del escenari que estudiem haurem de tenir en compte aquest valor per poder realitzar una simulació el més correcta possible.

Per tant, quan ens trobem en un entorn molt obstruït o de difícil visió directa entre node transmissor i node receptor, haurem de treballar amb valors de $n > 2$ (aproximadament). Mitjançant la figura anterior (Figura 19), comprovem com una diferència entre valors de n de 2 (cas $n=1.5$ i cas $n=3.5$) suposa un increment de la potència Tx requerida de fins a 11 dBm en el pitjor cas ($d=100$ m), o de fins a 3 dBm en el millor cas ($d=5$ m).

5.3 Efecte de la modulació i del tipus de bateria

Per acabar, en aquest apartat realitzarem l'estudi del algoritme analitzat anteriorment (GTFT) però afegint el tipus de modulació utilitzada per la comunicació entre nodes. Mitjançant el tipus de modulació i els bits de dades que s'han de transmetre, variarà el consum d'energia en les bateries dels nodes (laptops i/o sensors) i, consegüentment, el rendiment total de la xarxa.

Al tractar-se de nodes de petit tamany, les seves bateries no poden disposar d'una gran quantitat d'energia. Llavors, és important estudiar l'efecte que comporta en l'energia dels nodes transmetre paquets de diferents mides. Aquests tipus de nodes inalàmbrics (sensors i/o laptops) solen emprar valors per les seves bateries del voltant de 14 Volts (aproximadament).

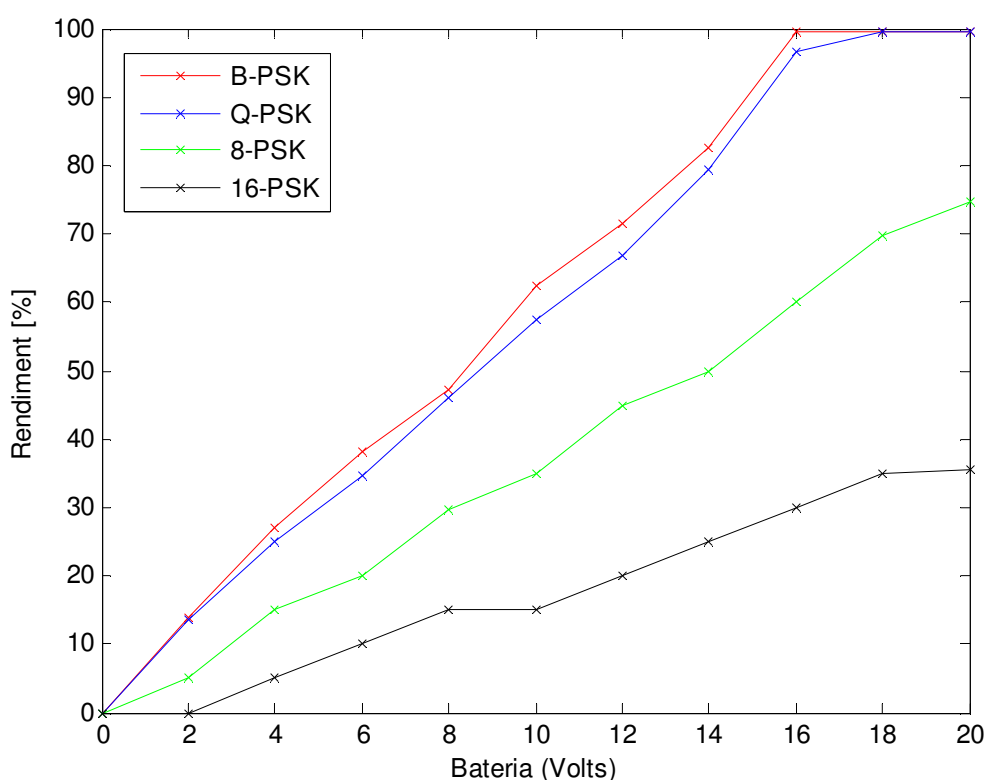


Figura 24. Evolució del rendiment en funció de la modulació i l'energia de la bateria.

A la Figura 24 podem veure com el tipus de modulació es important en el rendiment de la xarxa. Es pot comprovar com, pel cas B-PSK i Q-PSK, s'assoleix el màxim rendiment en la xarxa. En els altres dos casos, no es dona aquesta situació ja que el consum d'energia és molt més alt i, per tant, necessitaran bateries amb més capacitat.

També és obvi que, a major nombre de possibles fases (m), major és la quantitat d'informació que es pot transmetre (més velocitat de transmissió) utilitzant la mateixa amplada de banda, però major és també la sensibilitat front a errors i interferències.

Les modulacions BPSK i QPSK són òptimes des del punt de vista de protecció front a errors. Conceptualment parlant, la diferència entre diferents símbols (associats a cada fase) és màxima per la potència i amplada de banda utilitzats. No passa el mateix amb modulacions 8-PSK, 16-PSK i posteriors, per les que hi ha altres modulacions més eficients.

A partir d'ara treballarem amb la modulació Q-PSK ja que té el doble d'eficiència en amplada de banda que BPSK i no consumeix tanta energia com 8-PSK o 16-PSK. Aquesta modulació digital (Q-PSK) es basa en una codificació per canvi de fase en quadratura. Quatre fases separades per una distància igual en tots els casos representen els dígit "00", "01", "10" i "11". Cada fase transmet dos bits Q-PSK.

A continuació, analitzarem una xarxa formada per 25 nodes. Tots els nodes disposaran de la mateixa capacitat inicial d'energia a la bateria, 20 Volts. S'estudiaran quatre casos diferents en funció del tipus de dades a transmetre pels nodes.

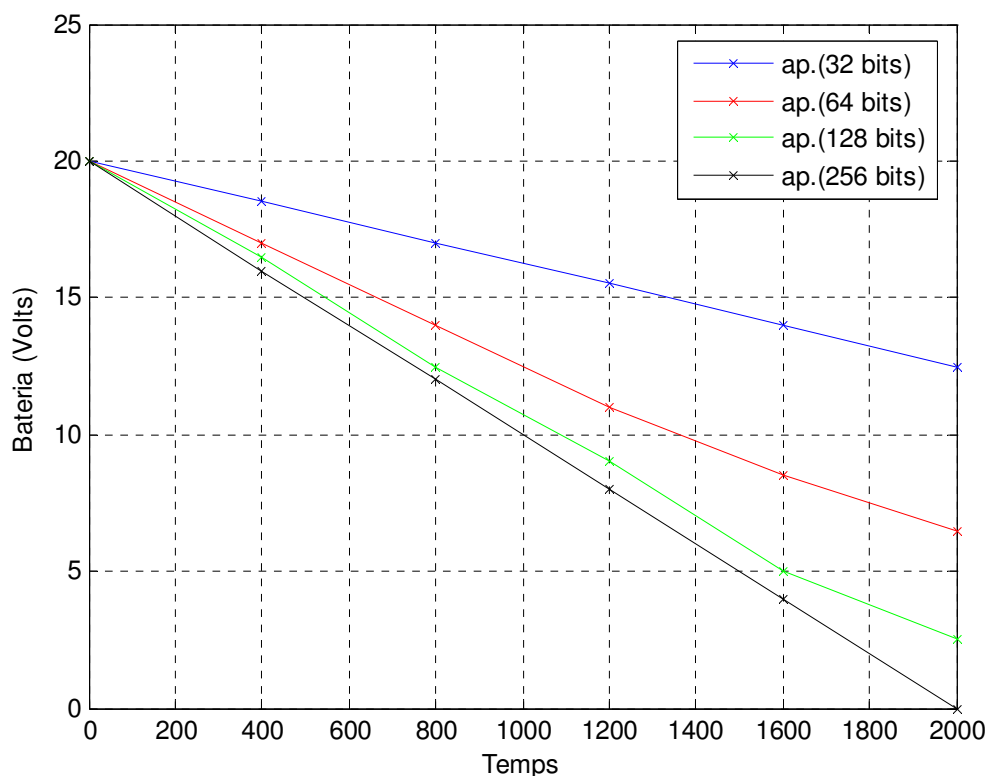


Figura 25. Influència del tipus de node en la duració de la bateria.

Mitjançant la Figura 25, podem comprovar com el tipus de node (sensor, laptop, etc) que hi hagi a la xarxa és important. No són les mateixes les dades que ha de transmetre un sensor inalàmbic de temperatura que un de nivell d'aigua o detector d'intrusions, depenent del seu tipus transmetrà una quantitat de bits de dades o una altra i, com hem comentat anteriorment, ens afectarà al consum d'energia dels nodes.

Per aplicacions amb baixos bits de dades a transmetre veiem com l'energia de la bateria disminueix al llarg de les diferents comunicacions que es realitzen en la xarxa, però no arriba a esgotar-se del tot.

En canvi, per aplicacions al voltant dels 128 bits l'energia de la bateria dels nodes s'arriba a esgotar o assoleix valors mínims.

Finalment, analitzarem l'efecte que té l'energia disponible a la bateria dels nodes en la cobertura d'aquests. Mitjançant el model de propagació estudiat (Log-distance) trobarem el valor de potència a transmetre en funció de la potència rebuda i l'energia disponible a les bateries.

Analitzarem, novament, una xarxa de 25 nodes emprant $n=2$.

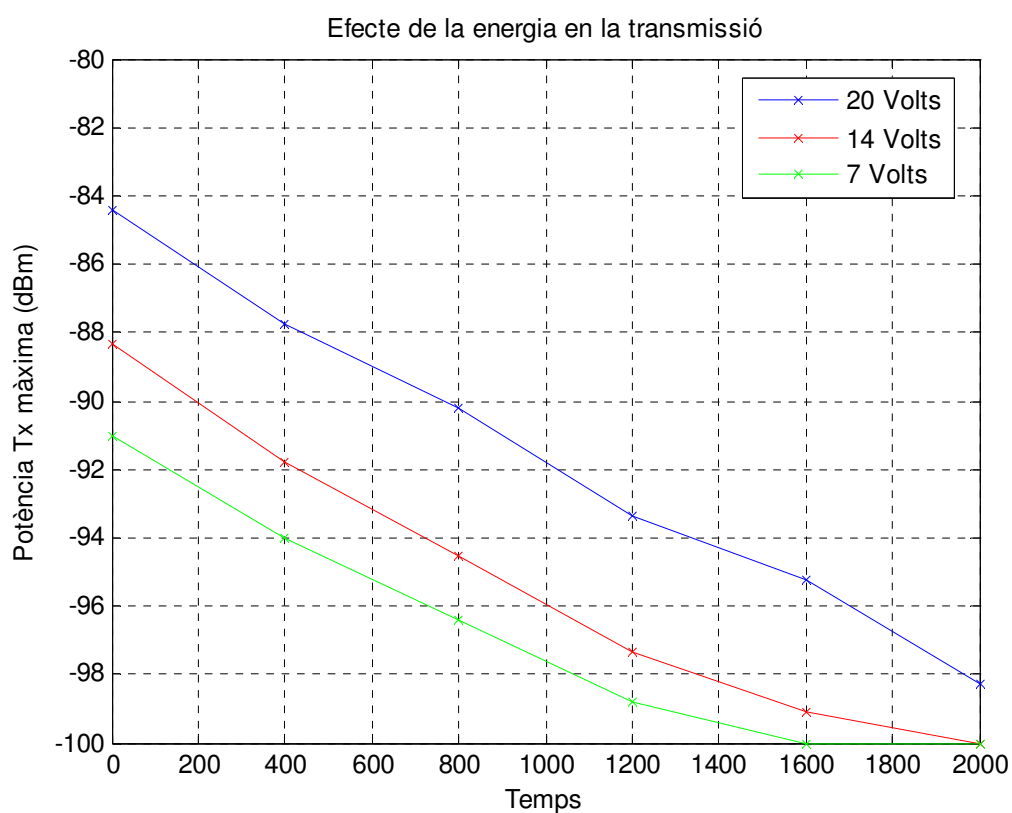


Figura 26. Potència màxima de transmissió en funció de la capacitat de la bateria, per un node aleatori de la xarxa.

En la gràfica anterior, (Figura 26), podem veure com al llarg del temps i, a mesura que es van realitzant transferències de dades entre nodes, el nivell d'energia de la bateria d'un determinat node comença a disminuir.

Per tant, cada cop disposem de menys reserva energètica i la potència màxima a la qual podem transmetre va decreixent fins arribar un punt en que el node ja no està habilitat per transmetre més paquets cap a un cert node destí.

Per exemple, al inici de la simulació podem veure com es poden assolir distàncies entre emissor i receptor de fins a uns 250 metres. En canvi, al final de la simulació tan sols s'aconsegueixen distàncies del ordre de 1 o 3 metres en el millor cas (Figura 23).

Així doncs, podem afirmar que la topologia que tindrà la xarxa vindrà marcada per la capacitat dels nodes en comunicar-se entre ells dins del seu rang de cobertura, que serà una certa distància d , en funció de paràmetres com l'energia de la bateria o el valor del medi de propagació específic (n) entre d'altres.

6 Conclusions i línies futures

Les xarxes ad hoc tenen la clau cap al futur de les comunicacions sense fils, proporcionant comunicació adaptativa sense la necessitat d'infraestructures costoses. En aquest tipus de xarxes, la falta d'un control centralitzat implica que el comportament d'un usuari (individual) té un efecte profund en el rendiment del total de la xarxa.

Per exemple, triant entre rebutjar les peticions de reencaminament o d'abandonar la xarxa, un usuari pot inhabilitar seriosament la comunicació entre els altres usuaris de la mateixa xarxa.

Com hem vist, aquests nodes solen actuar de paràsits en la xarxa disminuint, així, el rendiment de la xarxa fins que arriba un punt en que un determinat nombre d'aquests nodes fa que decaigui cap a valors propers a zero.

Aquest fet representa un gran contrast respecte els sistemes fixes de comunicacions sense fils on, un únic usuari té molta menys influència en els altres usuaris. La influència del comportament del usuari en el comportament de la xarxa, en combinació amb el factor que els nodes en les xarxes ad hoc estan limitats per la seva bateria d'energia limitada, motiva la necessitat d'un escenari eficient i racional.

En aquest projecte, ens hem adreçat al problema de la cooperació entre nodes d'energia limitada en les xarxes mòbils ad hoc. Hem assumit que aquests usuaris són racionals i, com a conseqüència, els usuaris no sempre estaran disposats a gastar els seus recursos energètics existents per reencaminar paquets generats per altres usuaris.

Hem vist com pot afectar l'energia inicial de les bateries dels nodes en el rendiment de la xarxa ja que, depenent d'aquestes reserves energètiques es veu afectat el comportament d'aquests nodes alhora de reencaminar paquets provinents d'altres nodes emissors.

Llavors, utilitzant el cas particular de Game Theory (teoria del joc), hem estat capaços de mostrar l'existència d'un punt d'operació en el qual la xarxa gestiona, de manera òptima, el compromís entre rendiment i temps de vida dels nodes.

S'ha utilitzat un algoritme simple i escalable denominat GTFT (Generous TIT-FOR-TAT) per estudiar el comportament de la xarxa i poder cercar aquest equilibri per donar una aproximació al funcionament de la cooperació dins de les xarxes ad hoc.

Hem simulat un cas particular d'aquest algoritme afegint un node satèl·lit a la xarxa, amb un paràmetre (p_s) que modelava l'implicació d'aquest en el sistema. Llavors, s'ha comprovat com augmenta el rendiment de la xarxa i la fa més immune a nodes paràsits presentant, així, més estabilitat alhora de d'esgotar recursos energètics ja que aquest tipus de node no presenta cap limitació d'energia.

Serà necessari un treball futur per poder conjuntar un algoritme que permeti als nodes acumular al llarg del temps la informació necessària del sistema per aplicar les estratègies proposades.

També seria interessant centrar-se en alguns algoritmes o protocols d'encaminament per poder gestionar d'una manera més dinàmica el comportament de la xarxa. Es a dir, intentar de gestionar les rutes entre nodes en funció de paràmetres com l'energia restant a la bateria o el nombre d'aparicions realitzades en aquella xarxa, per tal de no carregar tot el pes de la xarxa a uns pocs nodes.

En el nostre algoritme els nodes participants en la xarxa són escollits aleatòriament al començament de la comunicació i, per tant, no es basa en els paràmetres de cada node nombrats anteriorment.

7 Referències

[1] Cooperation in Wireless Ad-Hoc Networks (IEEE,2003). Vikram Srinivassan, Pavan Nuggehalli, CarlaF. Chiasserini, Ramesh R. Rao.

[2] Tutorial on wireless Ad Hoc networks (HET-NETs 2004). David Remondo (Dept. Telematics Eng., UPC).

[3] Servicios de valor añadido en redes móviles Ad Hoc. Iván Vidal, Carlos García, Ignacio Soto, José Ignacio Moreno (Dept. Eng. Telemática, Universidad Carlos III – Madrid).

[4] Redes Mesh. Sebastian Buettrich, de wire.less.dk.

[5] CS 294-7: Radio propagation. Prof. Randy H.Katz from CS Division (University of California , Berkeley).

[6] Cap. 5: Modelos de Propagación de catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos

[7] Introducción a las redes Ad Hoc. Departamento de Sistemas Telemáticos y Computación de la Universidad Rey Juan Carlos (www.gsync.es).

[8] Principios de comunicaciones móviles. Oriol Sallent Roig, VV Staff, José Luis Valenzuela González.

[9] Wireless Communications. Andrea Goldsmith (Stanford University).

[10] Modulaciones en fase de webpages.ull.es/users/amanza/SCT/S19_Teoria.pdf

- En aquest projecte es realitza una aproximació al funcionament de la cooperació en xarxes Ad Hoc mòbils.

Ja que els nodes mòbils disposen de bateries d'energia limitada, poden no estar interessats en fer de routers enviant paquets cap un node destí. D'altra banda, si tots els nodes de la xarxa tenen aquest comportament egoista, el rendiment total de la xarxa cau bruscament. Així doncs, s'haurà de trobar l'equilibri en el compromís existent entre la vida d'un node i el rendiment total de la xarxa.

Mitjançant el desenvolupament del algoritme "Generous TIT-FOR-TAT" analitzarem aquestes limitacions per tal de trobar el punt òptim de funcionament de la xarxa i, posteriorment, estudiarem el mateix cas però utilitzant un node satèl·lit amb energia il·limitada.

Finalment, avaluarem la cobertura d'aquestes xarxes suposant una modulació digital i un model de propagació per poder estudiar la energia i la potència de la senyal en funció de la separació entre nodes (topologia de la xarxa).

- En este proyecto se realiza una aproximación al funcionamiento de la cooperación en redes ad hoc móviles.

Dado que los nodos móviles tienen baterías de energía limitada, pueden no estar interesados en enviar paquetes hacia un nodo destino. Por otro lado, si todos los nodos de la red deciden usar el mismo comportamiento egoísta, el rendimiento de la red decae bruscamente. Así pues, se tendrá que encontrar el equilibrio en el compromiso existente entre la vida de un nodo i el rendimiento total de la red.

Mediante el desarrollo del algoritmo "Generous TIT-FOR-TAT" analizaremos estas limitaciones para, así, encontrar el punto óptimo de funcionamiento de la red y, a continuación, estudiaremos el mismo caso pero añadiéndole un nodo satélite sin restricciones de energía.

Finalmente, evaluaremos la cobertura de este tipo de redes suponiendo una modulación digital y un modelo de propagación para poder estudiar la energía y la potencia de la señal en función de la separación entre nodos (topología de la red).

- In this paper we are going to give a first approach to cooperation in wireless ad hoc networks.

Since wireless nodes are energy constrained, it may not be in the best interest of a node to always accept relay requests. On the other hand, if all nodes decide not to expend energy in relaying, then network throughput will drop dramatically. So, the equilibrium will have to be found among the existing trade off between the node life and network throughput.

While developing an algorithm called "Generous Tit-For-Tat", we'll analyse these constraints to find the network optimal working point and, then, study the same case but adding a satellite node without any energy constraint.

Finally, we'll evaluate the coverage of ad hoc networks using a digital modulation and a propagation model to study the energy and the signal power depending on the distance between nodes (network topology).

8 Annex

8.1 Programa/Codi Matlab

```
Function [phi_node,V_paq,A,B,C,D,p,Throughput_node, Thrp]=  
Inicializar(epsilon,en1,N,N_paq,tot_time,time_send_node,ps)  
  
a1=0; a2=0; a3=0; a4=0; a5=0;  
  
A=zeros(N+1); %number of relay requests generated BY the node wich have been accepted  
B=zeros(N+1); %number of relay requests made BY the node  
phi=zeros(N+1); %phi = A/B  
  
C=zeros(N+1); %number of relay requests accepted TO the node wich have been accepted  
D=zeros(N+1); %number of relay requests made TO the node  
psi=zeros(N+1); %psi = C/D  
  
%PARÀMETRES:  
  
c=0.001; %consum d'energia en Tx & relaying  
p=en1*ones(N); %limitació d'energia (= pels N nodes)  
  
f=2; %f és la freq. de la portadora  
%g=[1 0 1 0 0 1]; %senyal binària d'entrada  
%N_bits=length(g); %N bits de dades (bit rate)  
N_bits=128;  
  
Vs= 2500; %velocitat de transmissió de dades expressada en baudios  
M=2; %valor de M-PSK on M=2,4,8,16...  
V_tx=Vs*M; %velocitat de Tx de dades en bps  
  
Tbit= 1/V_tx; %temps de bit en segons  
  
%nombre d'enllaços màxims -> M=1  
tau=(-(1+ps+p*N^2)/(-2*N+N*ps+1-2*ps); %The Pareto Optimal (teniendo en cuenta  
er=1/N*tau)  
tau(N+1)=1; % node satèl·lit  
  
request=zeros(N+1); % peticions  
Thrp=zeros(N+1); % rendiment  
rej=zeros(N+1); % rebutja  
  
V_paq=[1:N_paq*(N+1)]; %total de paquets  
paq_to_sat=ceil(rand(1,N_paq*(N+1))-(1-ps)); % paquets que s'envien al satèl·lit  
  
for i=1:N_paq*(N+1)  
    phi=A./B;  
    psi=C./D;  
    for k=1:N+1 %per cada node
```

```

    phi_node(k,i)=phi(k);
    request_node(k,i)=request(k);
    Throughput_node(k,i)=Thrp(k);
end
if (paq_to_sat(1,i)==1) % N+1 és el node satèl·lit
    dest=N+1;
else
    dest=0;
end
for j=1:N_paq, %per cada paquet
    for k=1:N+1 %per cada node
        if tot_time(i)==time_send_node(k,j) %resultat del temps
            Source_number=k;
            if (Source_number==N+1) && (paq_to_sat(1,i)==1)
                Source_number=ceil(rand(1)*N);
            end
        end
    end
end

[A,B,C,D,p,Thrp,request]=Creacion_Sources(Source_number,N,request,Thrp,A,B,C,D,tau,psi,phi,
epsilon,p,c,Tbit,N_bits,M,rej,dest);
end
end
end
end

```

```

THR=sum(max(Throughput_node(:,:))) %rendiment total del sistema

```

Modulacions

Modulació 2-PSK:

```

% t=0:2*pi/99:2*pi;

% cp=[];
% sp=[];

% mod=[];
% mod1=[];
% bit=[];

% for n=1:N_bits;
%     if g(n)==0;

%         die=zeros(1,100); %Modulante
%         se=zeros(1,100); %Señal
%     else g(n)==1;

%         die=ones(1,100); %Modulante
%         se=ones(1,100); %Señal

```

```

% end

% c=sin(f*t);
% cp=[cp die];
% mod=[mod c];
% bit=[bit se];

% end

% bpsk=cp.*mod;
% subplot(2,1,1);plot(bit,'LineWidth',1.5);grid on;
% title('Binary Signal');
% axis([0 100*length(g) -2.5 2.5]);

% subplot(2,1,2);plot(bpsk,'LineWidth',1.5);grid on;
% title('BPSK modulation');
% axis([0 100*length(g) -2.5 2.5]);

```

Modulació QPSK:

```

% r=N_bits/2;
% re=ceil(r); %arrodoneix
% val=re-r;

% if val~=0;
% error('Has de introduir un vector divisible per 2');
% end

% t=0:2*pi/99:2*pi;
% cp=[];
% sp=[];
% mod=[];
% mod1=[];
% bit=[];
% for n=1:2:N_bits); %per cada parella de bits

% if g(n)==0 && g(n+1)==1; %CAS 01

% sb=sqrt(2)/2*ones(1,100);
% sb2=-sqrt(2)/2*ones(1,100);
% se=[zeros(1,50) ones(1,50)];

% elseif g(n)==0 && g(n+1)==0; %CAS 00

% sb=-sqrt(2)/2*ones(1,100);
% sb2=-sqrt(2)/2*ones(1,100);
% se=[zeros(1,50) zeros(1,50)];

```

```

% elseif g(n)==1 && g(n+1)==0; %CAS 10

%     sb=-sqrt(2)/2*ones(1,100);
%     sb2=sqrt(2)/2*ones(1,100);
%     se=[ones(1,50) zeros(1,50)];

% elseif g(n)==1 && g(n+1)==1; %CAS 11

%     sb=sqrt(2)/2*ones(1,100);
%     sb2=sqrt(2)/2*ones(1,100);
%     se=[ones(1,50) ones(1,50)];

% end

% c=cos(f*t);
% s=sin(f*t);

% cp=[cp sb]; %amplitud cos
% sp=[sp sb2]; %amplitud sin

% mod=[mod c]; %cos portadora (Q)
% mod1=[mod1 s]; %sin portadora (I)

% bit=[bit se];

% end

% qpsk=cp.*mod + sp.*mod1;

% subplot(2,1,1);
% plot(bit,'LineWidth',1.5);
% grid on;
% title('Senyal Binària')
% axis([0 50*length(g) -1.5 1.5]); %eixos x i y

% subplot(2,1,2);
% plot(qpsk,'LineWidth',1.5);
% grid on;
% title('Modulació QPSK')
% axis([0 50*length(g) -1.5 1.5]); %eixos x i y

```

Modulació 8-PSK:

```

% r=N_bits/3;
% re=ceil(r);
% val=re-r;

% t=0:2*pi/149:2*pi;

```

```

% cp=[];
% sp=[];

% mod=[];
% mod1=[];
% bit=[];

% for n=1:3:N_bits;

%   if g(n)==0 && g(n+1)==1 && g(n+2)==1

%       die=cos(pi/8)*ones(1,150);
%       die1=sin(pi/8)*ones(1,150);
%       se=[zeros(1,50) ones(1,50) ones(1,50)];

%   elseif g(n)==0 && g(n+1)==1 && g(n+2)==0

%       die=cos(3*pi/8)*ones(1,150);
%       die1=sin(3*pi/8)*ones(1,150);
%       se=[zeros(1,50) ones(1,50) zeros(1,50)];

%   elseif g(n)==0 && g(n+1)==0 && g(n+2)==0

%       die=cos(5*pi/8)*ones(1,150);
%       die1=sin(5*pi/8)*ones(1,150);
%       se=[zeros(1,50) zeros(1,50) zeros(1,50)];

%   elseif g(n)==0 && g(n+1)==0 && g(n+2)==1

%       die=cos(7*pi/8)*ones(1,150);
%       die1=sin(7*pi/8)*ones(1,150);
%       se=[zeros(1,50) zeros(1,50) ones(1,50)];

%   elseif g(n)==1 && g(n+1)==0 && g(n+2)==1

%       die=cos(-7*pi/8)*ones(1,150);
%       die1=sin(-7*pi/8)*ones(1,150);
%       se=[ones(1,50) zeros(1,50) ones(1,50)];

%   elseif g(n)==1 && g(n+1)==0 && g(n+2)==0

%       die=cos(-5*pi/8)*ones(1,150);
%       die1=sin(-5*pi/8)*ones(1,150);
%       se=[ones(1,50) zeros(1,50) zeros(1,50)];

%   elseif g(n)==1 && g(n+1)==1 && g(n+2)==0

%       die=cos(-3*pi/8)*ones(1,150);
%       die1=sin(-3*pi/8)*ones(1,150);
%       se=[ones(1,50) ones(1,50) zeros(1,50)];

```

```

% elseif g(n)==1 && g(n+1)==1 && g(n+2)==1

% die=cos(-pi/8)*ones(1,150);
% die1=sin(-pi/8)*ones(1,150);
% se=[ones(1,50) ones(1,50) ones(1,50)];

% end

% c=cos(f*t);
% s=sin(f*t);
% cp=[cp die]; %Amplitud cosino
% sp=[sp -die1]; %Amplitud sino
% mod=[mod c]; %cosino carrier (Q)
% mod1=[mod1 s]; %sino carrier (I)
% bit=[bit se];

% end

% opsk=cp.*mod+sp.*mod1;
% subplot(2,1,1);plot(bit,'LineWidth',1.5);grid on;
% title('Binary Signal')
% axis([0 50*length(g) -1.5 1.5]);

% subplot(2,1,2);plot(opsk,'LineWidth',1.5);grid on;
% title('8PSK modulation')
% axis([0 50*length(g) -1.5 1.5]);

```

MODEL DE PROPAGACIÓ LOG-DISTANCE

```

% dist=100; %distancia (metres)
% d=1:dist;

% n=1.5; %depenent del medi de propagació específic
% Pr=-100; %potència rebuda en dBm

% while n<4

% Pt = Pr + (n*log2(d));

% if n==1.5
% plot(d, Pt,'k-')
% hold on;

% elseif n==2
% plot(d, Pt, 'r-')

% elseif n==2.5
% plot(d, Pt, 'm-')

```

```

% elseif n==3
%     plot(d, Pt, 'b-')

% elseif n==3.5
%     plot(d, Pt, 'y-')
% hold off;
% end

% n=n+0.5;

% axis tight;
% grid on;
% title(['Potència transmesa per Pr=-100 dBm i diferents valors de n']) n=',num2str(n-0.5)]];
% xlabel('Distància [m]');
% ylabel('Pt [dBm]');
% end

```



```

function [A,B,C,D,p,Thrp,request]=
Creacion_Sources(Source_number,N,request,Thrp,A,B,C,D,tau,psi,phi,epsilon,p,c,Tbit,N_bits,
M,rej,dest)

all_nodes=[1:N+1];

if dest==0
possible_dest=[all_nodes(1:(Source_number-1)) all_nodes((Source_number+1:N+1))];
%possibles destins
dest_selected=random('unid',N,1,1); %tots els nodes amb la mateixa probabilitat
dest=possible_dest(dest_selected);
end

possible_dest=[all_nodes(1:(Source_number-1)) all_nodes((Source_number+1:N+1))];
possible_relays=[possible_dest(1:(dest-1)) possible_dest((dest+1:N))];
relay_selected=random('unid',N-1,1,1); %el mateix per els nodes relay
relay=possible_relays(relay_selected);

request(Source_number)=request(Source_number)+1; %petició

D(relay)=D(relay)+1; %increment de peticions fetes cap al relay
B(Source_number)=B(Source_number)+1; %incrementamos de peticions fetes cap a la font

% ALGORITME GENEROUS TIT-FOR-TAT (GTFT)

if psi(relay)>tau(relay) | phi(relay)<psi(relay)-epsilon %nodes paràsits: | relay==25 | relay==24
% | relay==19 | relay==22
rej(relay)=rej(relay)+1; %rebutja
else %accepta

A(Source_number)=A(Source_number)+1; %increment de transmissions fetes per la font
C(relay)=C(relay)+1; %increment de transmissions acceptades cap al relay

%per la font:
p(Source_number)=p(Source_number)-(c*M); %consum d'energia (decrementamos la energia
del nodo)
if p(Source_number)<=0
Source_number
disp('No es pot realitzar la comunicació ja que el node font ha esgotat la seva bateria')
else
pot_font=(p(Source_number)/Tbit); %potencia maxima a utilitzar pel node que ha de
transmetre per poder arribar al node relay.
pot_font_dBm=(10*log(pot_font))-30; %pasem la potència a dBm
dist=2^((pot_font_dBm-(-100))/2); %distància màxima en metres (model log-distance)

Thrp(Source_number)=Thrp(Source_number)+1; %sumem al rendiment nomes quan la
bateria del node no esta esgotada
end

```

```

%per el relay:
p(relay)=p(relay)-(c*M);
if p(relay)<=0
    relay
    disp('No es pot realitzar la comunicació ja que el node relay ha esgotat la seva bateria')
else
    pot_relay=(p(relay)/Tbit);          %potencia maxima a utilitzar pel node que ha de fer de
    relay per poder arribar al node desti.
    pot_relay_dBm=(10*log(pot_relay))-30; %pasem la potència a dBm
    dist=2^(((pot_relay_dBm-(-100))/2); %distància màxima en metres (model log-distance)

    Thrp(Source_number)=Thrp(Source_number)+1; %sumem al rendiment només quan la
    bateria del node no està esgotada

end

end

end

```

```

clear all
close all

N_paq= 10;    %nombre de paquets
epsilon= 0.3; %grau de generositat
N=25;         %nombre de nodes (laptops i/o sensors)
en1= 0.03;    %energia inicial nodes (de cada un) tots la mateixa
ps= 0.0;      %probabilitat de satèl·lit (external traffic)

for k=1:(N+1) %per cada node
    node(k,:)=exprnd(1,1,N_paq);
    time_send_node(k,:)=sort(node(k,:));
end
total_time=time_send_node(1,:);
for k=2:(N+1)
    total_time=[total_time time_send_node(k,:)];
end
tot_time=sort(total_time);

[phi_node,V_paq,A,B,C,D,p,Throughput_node,Thrp]=
Inicializar(epsilon,en1,N,N_paq,tot_time,time_send_node,ps);

```

ESTUDIS - ESCENARIS

```

%modulacions:
%cas 2-psk:
en=[0 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09];
thr=[0 72 141 198 ];
% plot(en,thr/2,'rx-')
% hold on;

%cas 4-psk:

```

```

thr2=[0 ];
%plot(en,thr2/2,'bx-')

%cas 8-psk:
thr3=[0 ];
%plot(en,thr3/2,'bx-')

%cas 16-psk:
thr4=[0 ];
%plot(en,thr4/2,'bx-')
% hold off;
% ylabel('Rendiment [%]')
% xlabel('n° nodes paràsits')

%-----|||-----

%nodes paràsits:

%cas ps=0%:
% thr2=[157/2.6 146/2.6 142/2.6 117/2.6 100/2.6 80/2.6 67/2.6 36/2.6];
% paras=[0 2 4 6 8 10 12 14];
% plot(paras,thr2,'rx-')
% hold on;
%
% cas ps=50%:
% thr=[201/2.6 184/2.6 164/2.6 142/2.6 112/2.6 100/2.6 81/2.6 51/2.6];
% plot(paras,thr,'bx-')
%
% cas ps=100%:
% thr3=[259/2.6 221/2.6 202/2.6 160/2.6 117/2.6 105/2.6 89/2.6 58/2.6];
% plot(paras,thr3,'gx-')
% hold off;
% ylabel('Rendiment [%]')
% xlabel('n° nodes paràsits')

%-----|||-----

%increment de % respecte N i N+SAT
%cas GoG=0:
%Ps=[0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1];
%inc=[0 6.4 15.2 23.6 30.3 36.7 47.8 56.2 67.8 86.4 86.4];
%plot(Ps,inc,'gx-')
%hold on;

%cas GoG=0.1
%rend=[1607 1690 1782 1885 1999 2123 2269 2437 2599 2599 2599];

```

```
%inc2=[0 5.17 11 17 24.4 32.1 41.2 51.6 61.7 61.7 61.7];
%plot(Ps,inc2,'rx-')
```

```
%cas GoG=0.3
%rend=[1637 1706 1795 1901 2009 2130 2274 2442 2599 2599 2599];
%inc3=[0 4.22 9.7 16.12 22.7 30.1 39 48.6 59 59 59];
%plot(Ps,inc3,'bx-')
%hold off;
%ylabel('Increment del rendiment [%]')
%xlabel('Ps')
%title('Efecte d'utilitzar un node satèl·lit')
```

```
%-----| | | | | | | | | | | | | |-----
```

```
%Energia vs Nodes
%N=25 i N_paq=100, i ps=35%
```

```
%cas GoG=0.3
%p=[0 0.015 0.03 0.045 0.06 0.075 0.09];
%thr=[42/26 578/26 1172/26 1753/26 2336/26 2599/26 2599/26];
%plot(p,thr,'gx-')
%hold on;
```

```
%cas GoG=0.1
%thr2=[32/26 566/26 1154/26 1746/26 2329/26 2599/26 2599/26];
%plot(p,thr2,'rx-')
```

```
%cas GoG=0
%thr4=[29/26 451/26 978/26 1437/26 1491/26 2599/26 2599/26];
%plot(p,thr4,'kx-')
```

```
%cas GoG=-0.1
%thr3=[28/26 58/26 79/26 73/26 133/26 96/26 164/26];
%plot(p,thr3,'bx-')
%hold off;
%ylabel('Rendiment [%]')
%xlabel('Limitació d'energia')
%title('LAPTOPS+SATÈL·LIT')
```

```
%-----| | | | | | | | | | | | | |-----
```

```
%GoG vs Nodes
%p=0.05 i N_paq=100 i ps=35%
```

```
%cas Grade of generosity = -0.1:
%n=[0 10 20 30 35 45 55 65 75 90];%number of nodes
%thr=[0 28/11 77/21 158/31 164/36 219/46 295/56 321/66 352/76 464/91];%total throughput
%plot(n,thr,'gx-')
%hold on;
```

```

%cas Grade of generosity = 0:
%thr2=[0 266/11 854/21 1893/31 3599/36 4599/46 5599/56 6599/66 7599/76 9099/91];
%plot(n,thr2,'kx-')

%cas grade of generosity = 0.1: per valors >0 són més generosos
%thr3=[0 308/11 1240/21 2781/31 3599/36 4599/46 5599/56 6599/66 7599/76 9099/91];
%plot(n,thr3,'rx-')

%cas Grade of generosity = 0.3:
%thr4=[0 317/11 1257/21 2793/31 3599/36 4599/46 5599/56 6599/66 7599/76 9099/91];
%plot(n,thr4,'bx-')

%cas Grade of generosity = 0.6:
%thr5=[0 327/11 1269/21 2787/31 3599/36 4599/46 5599/56 6599/66 7599/76 9099/91];
%plot(n,thr5,'mx-')
%hold off;
%ylabel('Rendiment [%]')
%xlabel('nº de nodes')
%title('LAPTOPS+SATÈL·LIT')

%-----|||-----

%efecte de Ps
%p=0.05 i N_paq=100 i GoG=0.3

%Ps = 0%:
%n=[0 10 20 30 40 50 60 70 80 90];
%thr=[0 259/11 1054/21 2332/31 4099/41 5099/51 6099/61 7099/71 8099/81 9099/91];
%plot(n,thr,'gx-')
%hold on;

%Ps = 40%:
%thr2=[0 318/11 1303/21 2870/31 4099/41 5099/51 6099/61 7099/71 8099/81 9099/91];
%plot(n,thr2,'kx-')

%Ps = 0:
%thr3=[0 ];
%plot(n,thr3,'rx-')

%Ps = 80%:
%thr5=[0 424/11 1686/21 3099/31 4099/41 5099/51 6099/61 7099/71 8099/81 9099/91];
%plot(n,thr5,'mx-')
%hold off;
%ylabel('Rendiment [%]')
%xlabel('nº de nodes')
%title('Efecte de Ps')

%-----|||-----

% Per tots els casos --> p=0.05, ps=0.5

%N=10:

```

```

%GoG=[-0.1 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6];
%thr=[28/11 282/11 335/11 340/11 342/11 350/11 355/11 360/11];
%plot(GoG,thr,'gx-')
%hold on;

%N=20:
%thr2=[59/21 916/21 1366/21 1369/21 1372/21 1378/21 1376/21 1375/21];
%plot(GoG, thr2, 'kx-')

%N=30:
%thr4=[135/31 1567/31 3009/31 3026/31 3041/31 3038/31 3042/31 3042/31];
%plot(GoG,thr4,'bx-')

%N=40:
%thr5=[255/41 4099/41 4099/41 4099/41 4099/41 4099/41 4099/41 4099/41];
%plot(GoG,thr5,'mx-')
%hold off;
%ylabel('Rendiment [%]')
%xlabel('Grau de generositat')
%title('Efecte de Ps')

%-----|||-----

% Per tots els casos --> p=0.05, GoG=0.3

%N=10:
%Ps=[0 0.15 0.3 0.45 0.6 0.75 0.9 1];
%thr=[268/11 276/11 308/11 336/11 366/11 410/11 458/11 500/11];
%plot(Ps,thr,'gx-')
%hold on;

%N=20:
%thr2=[1048/21 1128/21 1219/21 1334/21 1463/21 1624/21 1827/21 1994/21];
%plot(Ps, thr2, 'kx-')

%N=30:
%thr4=[2325/31 2501/31 2709/31 2954/31 3099/31 3099/31 3099/31 3099/31];
%plot(Ps,thr4,'bx-')

%N=40:
%thr5=[4099/41 4099/41 4099/41 4099/41 4099/41 4099/41 4099/41 4099/41];
%plot(Ps,thr5,'mx-')
%hold off;
%ylabel('Rendiment [%]')
%xlabel('Ps')
%title('Efecte de N')

%-----|||-----

% Per tots els casos --> p=0.05, N=25

```